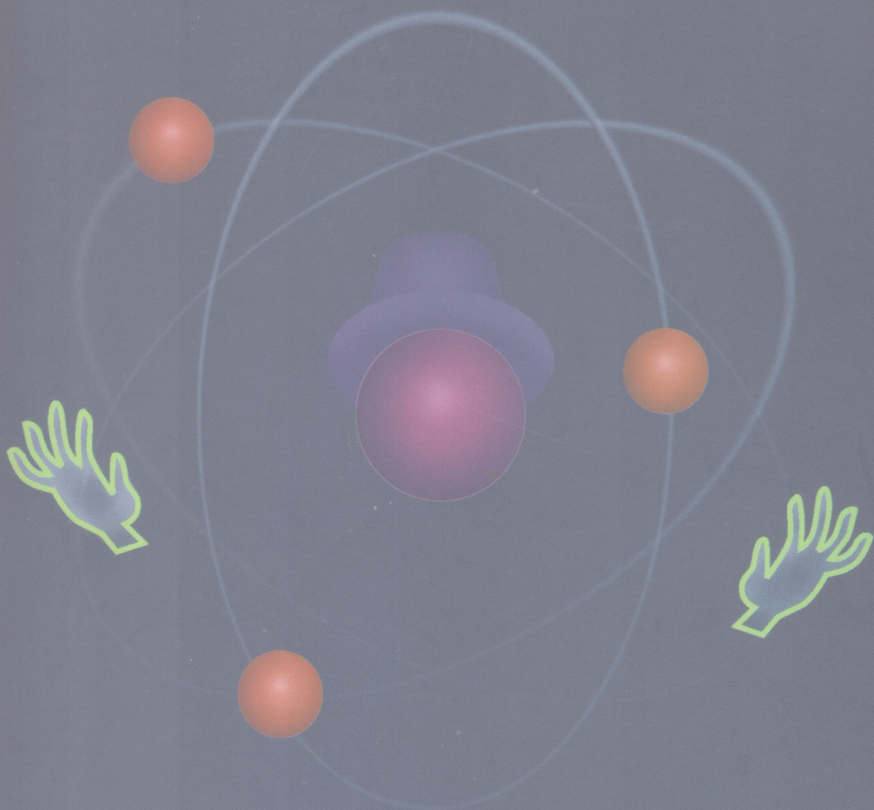


Frans W. Saris

Vacuüm is niet niks

MEULENHOFF

Boeken van Frans W. Saris bij Meulenhoff

Oververhit ijs. Dagboek van een fysicus

Vacuüm is niet niks. Columns en essays

Frans W. Saris

Vacuüm is niet niks

COLUMNS EN ESSAYS

Meulenhoff Amsterdam

Voor mijn ouders

Deze stukken zijn eerder verschenen in *NRC Handelsblad, de Volkskrant, Technisch Weekblad, Het Financieele Dagblad* en *De Gids*. Enkele stukken zijn eerder gebundeld in *Alles is natuurkunde, maar natuurkunde is niet alles*, dat niet in de handel verkrijgbaar is.

Vormgeving omslag Neno/Cees van den Oever
Foto achterzijde omslag Jaap Vastmaar

Meulenhoff Editie 1881
www.meulenhoff.nl
ISBN 90 290 6915 5 / NUGI 812

Inhoud

Over figuren

Alfa-angst of bèta-bang

U kent ons nog wel van de schoolbanken. Wij zaten voor u terwijl u zat te keten op de achterste rijen. U keek naar onze vieze vette haren, de roos op onze stinkende trui, altijd dezelfde, met de hand gebreid. Wij keken niet achterom, met onze bleekgezichten vol knalrode puisten staarden wij liefst op het papier voor ons. In de pauze zaten wij nooit bij u in de groep. In een hoekje alleen aten wij ons pakje brood van thuis. Wij konden niet voetballen. Wij deden geen sport. Alleen schaken, diep voorovergebogen naar het bord turend zonder iets te hoeven zeggen. Wij hadden geen vriendinnetje. Wij deden nooit onze mond open. In de wiskundeles hadden wij de sommen af en voor het proefwerk haalden wij een negen. U had daar de pest over in want het was slecht voor het gemiddelde. De talen lieten wij zo gauw mogelijk vallen, net als geschiedenis. Tekenen konden wij alleen met een liniaal. Wij kwamen nooit op feestjes en wij wisten niet wat een tongkus was, zelfs niet in de eindexamenklas. Toen gingen wij studeren, u in de stad maar wij moesten naar dat kille Roeterseiland of die gure Uithof. U werd lid van een dispuut of jaarkring, wij niet, ja van de faculteitsvereniging. Wij hadden nog steeds geen vriendin. Meisjes waren er bijna niet in onze collegezalen. Wij zaten dag in dag uit alleen op een klein kamertje, of nog bij moeder thuis. U woonde op een huis. Wij kwamen nooit op feesten, alleen op de mensa. Terwijl u ging samenwonen moesten wij trouwen. Inmiddels zijn wij al-

lemaal afgestudeerd. U heeft een echte baan en wij werken op een laboratorium. Als u een keer op onze Open Dag komt ziet u hoe ongezellig onze studeerkamers zijn. Geen planten, een computer en overal papieren en boeken. Een poster van Einstein aan de muur. Het liefst zien wij eruit zoals hij. Wij zijn nog steeds wereldvreemd. Maar, wij doen echte harde wetenschap, objectief en deskundig. Wij kennen de enige echte wetenschappelijke methode. Wij ontdekken de bouwstenen der natuur. Wij begrijpen de Big Bang en de hele evolutie die daarop volgde. Wij lossen het wereldenergieprobleem op. Wij bezorgen nieuwe elektronica, computers en telecommunicatie. Wij maken reageerbuisbaby's. Wij lossen het aids-probleem op. Wij winnen de Nobelprijs. En u gelooft dat, want u was altijd, om met Kees van Kooten te spreken, bèta-bang.

Hoe komt het dat knappe koppen maatschappelijk vaak zo slecht functioneren? Volgens Jona Oberski (zelf een fysicus) kiezen de meeste natuurkundigen voor dit vak omdat ze bang zijn voor mensen. Wij fysici zijn bang voor de waan der zinnen. Vandaar dat wij zo hartstochtelijk elke hartstocht buitensluiten. Zo ver mogelijk verwijderd van de werkelijke wereld creëren de fysici hun eigen veilige objectieve werkelijkheid, gevuld met problemen die alleen zij kunnen oplossen. Dat niemand anders deze vraagstukken begrijpt doet er niet toe. Het komt goed uit, dan worden wij tenminste met rust gelaten. Aldus kunnen wij ongestoord bezig blijven met zelfgecreëerde puzzels oplossen, met onze moderne rederijkerij. Het is zonde van de moeite en het is verkwisting van talent, maar erger is de radeloosheid die ons overvalt wanneer er een beroep op ons gedaan wordt vanuit de maatschappij. Wij hebben alfa-angst.

Hoe komt u af van uw bèta-bangheid en wij van onze alfa-angst? De wetenschapsjournalistiek kan hierin een belangrijke rol spe-

len. Informatie over wetenschap is niet alleen nieuws maar kan ook boeiend, spannend en zelfs geestig zijn. Journalisten kunnen aan het grote publiek laten zien dat wetenschap mensenwerk is en het hierboven geschilderde beeld van de gemiddelde bèta een karikatuur. Aan de andere kant kunnen wetenschapsjournalisten met kritische vragen voorkomen dat wetenschappers vakidioten worden. Maar journalisten hebben vaak een alfa- of gammaopleiding. Zij weten dat je aan een ander niet kan uitleggen wat je zelf niet begrijpt en daarom aarzelen zij om wetenschap in het nieuws te brengen. Wie echter een onbegrijpelijk antwoord krijgt moet niet in de eerste plaats aan zichzelf twijfelen, maar aan de wetenschapper die onduidelijk is. Want ook voor hem geldt: je kan aan een ander niet uitleggen wat je zelf niet begrijpt. Daarom zou het goed zijn als bètawetenschappers leren hoe anderen over hun vak denken en leren als normale mensen over hun werk te spreken, zodat er een beroep op hen gedaan kan worden indien het nodig is, zodat zij leren omgaan met hun hartstocht en met hun zinnen, ter alfabetisering.

Vrouwen zijn beter

Jaren geleden, toen hier meisjes nog niet exact hoefden kiezen, nodigde professor Yvette Cauchois mij uit voor een colloquium op haar Laboratoire Chimie-Physique aan de Rue Pierre et Marie Curie in Parijs. In een zaal met uitsluitend vrouwen werd spoedig duidelijk hoe de door mij gemeten maar niet begrepen resultaten geïnterpreteerd moesten worden. 'Vrouwen zijn beter,' antwoordde professor Cauchois op mijn vraag naar de eenzijdige samenstelling van haar laboratoriumstaf. 'Maar bij ons studeren ze geen natuurkunde,' zei ik, 'waarom in Frankrijk wel?' Zij antwoordde: 'Dat komt door Irène Joliot-Curie, niet Marie Curie zoals veel mensen denken, maar haar dochter.'

Irène, de oudste van de twee kinderen van Pierre en Marie Curie, is zes jaar als haar ouders de Nobelprijs winnen voor de ontdekking van radioactiviteit. De Curies vormen met de Perrins, Augers en Langevins, beroemde namen in de natuurkunde die ook met de Nobelprijs verbonden zijn, een clan waarin de opvoeding en het onderwijs van de kinderen worden gedeeld. Mede daardoor kan Marie haar onderzoek en onderwijs voortzetten, hoewel haar man door een verkeersongeval op jonge leeftijd om het leven komt. Als Irène vijftien jaar is mag ze mee naar Stockholm, waar Marie een tweede Nobelprijs wacht voor haar ontdekking van radium. Besluit zij hier het voorbeeld van haar moeder te volgen en haar in zeker opzicht zelfs voorbij te streven?

De jongste dochter, Eve, vindt dat er in de exacte wetenschap geen eer meer te behalen valt. Zij kiest voor een carrière in kunst en journalistiek, waarmee zij overigens een belangrijke bijdrage levert aan de Curie-legende. Over haar zuster schrijft ze in het blad *Marianne*: 'Zij is een geleerde. Zij is de dochter van twee geleerden. Zij is getrouwd met een geleerde. En zij moet wel een heel sterke persoonlijkheid hebben omdat zij een wonder heeft bewerkstelligd: zij lijkt op geen ander, zij imiteert niemand, zelfs niet haar beroemde moeder in wier voetsporen zij schijnt te treden, zowel wat betreft ontdekkingen als het winnen van de Nobelprijs.'

Eve schreef ook de belangrijkste biografie over haar moeder. Marya Sklodowska, de latere Marie Curie, komt in 1891 naar Parijs om er wis- en natuurkunde te studeren. Ze is al vierentwintig want ze heeft eerst zes jaar moeten werken als kamermeisje om haar zuster in staat te stellen in Parijs medicijnen te studeren. In Polen worden vrouwen nog niet tot de universiteit toegelaten. Toch is Frankrijk dan bepaald nog niet vrouwvriendelijk. Hoewel Marie Curie spoedig een van de belangrijkste wetenschappers van het land is, wordt zij pas benoemd aan de Sorbonne nadat haar man overleden is en zij hem kan opvolgen. Als zij zich kandidaat stelt voor het lidmaatschap van de Academie wordt er openlijk geprotesteerd in kranten die beweren dat de ontdekking van radium nooit door haar alleen kan zijn gedaan maar het werk van haar man moet zijn geweest, en Marie wordt niet gekozen. Als zij een 'affaire' heeft met Paul Langevin, die daarom zijn vrouw verlaat, ontstaat een schandaal waar zelfs de minister van onderwijs zich mee bemoeit: 'Marie Curie moet terug naar Polen. Zij kan niet langer in Frankrijk blijven omdat zij een schande is voor de universiteit.' Een telegram uit Stockholm brengt redding. Zij krijgt voor de tweede keer de Nobelprijs, ditmaal voor chemie, en zij hoeft hem niet te delen.

Als de jonge Irène haar moeder naar Stockholm vergezelt, is

zij niet alleen trots. Marie Curie heeft de poort van de wetenschap voor vrouwen geopend, maar Irène beseft dat de weg naar emancipatie een lange is. Misschien kiest zij daarom niet alleen voor natuurkunde maar ook voor politiek.

In het laboratorium neemt Irène de opengevallen plaats van haar vader in. Haar moeder, die langzaam maar zeker blind wordt, helpt ze bij het onderzoek en ze geeft les aan laboratoriumassistenten. In 1925 promoveert Irène op een onderzoek naar de alfastraling van polonium. Inmiddels is Frédéric Joliot, leerling van Paul Langevin, ook assistent bij Marie Curie en zo raken Fred en Irène verslingerd aan hetzelfde onderzoek en aan elkaar. Op 9 oktober 1926 trouwen ze en vanaf die datum noemt Fred zich Joliot-Curie. Hoewel boze tongen beweren dat hij dit alleen doet om te profiteren van de naam van zijn vrouw, heeft het ook het effect dat hij 'de prins-gemaal' genoemd wordt. Samen ontwikkelen ze chemische processen om het radioactieve polonium te scheiden van andere stoffen. Met dit polonium wordt in 1931 kunstmatig radioactiviteit opgewekt, een ontdekking waarvoor ze samen in 1935 de Nobelprijs krijgen. In Stockholm spreekt Irène het dankwoord uit, waarbij zij rapporteert over de ontdekking terwijl Fred toevoegt wat de mogelijke consequenties zijn voor de maatschappij. Samen zullen ze nog belangrijke bijdragen leveren aan de ontdekking van kernsplijting vlak voor de Tweede Wereldoorlog.

De Joliot-Curies zetten zich ook in voor maatschappelijke veranderingen. Ze sluiten zich aan bij het Volksfront van Léon Blum; als deze in 1936 de taak krijgt een regering te vormen biedt hij Irène een ministerspost aan. In een radiotoespraak, als eerste vrouwelijke minister van Frankrijk, zegt zij: 'Ik zou bijzonder verheugd zijn wanneer ik een bijdrage kan leveren aan het veilig stellen van het kostbaarste recht dat de Franse vrouwen hebben: het recht om, onder dezelfde voorwaarden als mannen, de beroepen uit te oefenen waarvoor zij gekwalificeerd zijn door op-

leiding en ervaring.' In 1936 wordt Irène ridder en in 1939 officier in het Legioen van Eer. Maar de Volksfrontregering stelt de Joliot-Curies teleur en vooral Fred voelt zich steeds meer aangetrokken tot de Communistische Partij, die belijdt de wetenschap te steunen ten behoeve van maatschappelijke hervormingen. Freds lidmaatschap van de Communistische Partij zal hem later zijn baan kosten en zijn vrouw zelfs achter de tralies brengen.

Tijdens de Tweede Wereldoorlog verbergen de Joliot-Curies hun radioactief materiaal voor de Duitsers, maar hun laboratorium blijft open om te voorkomen dat de apparatuur naar Duitsland zal verdwijnen. Fred neemt actief deel aan het verzet, terwijl Irène met de kinderen en de Langevins naar Zwitserland gaat, ook omdat zij ernstig lijdt aan tb. Na de Duitse capitulatie en de bom op Hiroshima heeft Fred een onderhoud met generaal de Gaulle. Er wordt een Commissariaat voor Kernenergie opgericht waarvan Fred de algehele leiding krijgt en Irène de scheikundige afdeling onder haar hoede neemt. Samen zetten zij zich in voor vreedzaam gebruik van kernenergie en ontwikkelen de eerste Franse kernreactor. Ze bepleiten vrije uitwisseling van wetenschappelijke informatie, maar inmiddels is de Koude Oorlog begonnen. Wanneer Irène op uitnodiging naar de Verenigde Staten reist mag ze eerst het land niet in, omdat haar man lid is van de Communistische Partij. Ze moet achter tralies de nacht doorbrengen op Ellis Island, waar ongewenste immigranten worden vastgehouden. Zij trekt zich er weinig van aan en blijft behoedzaam manoeuvreren tussen wetenschap en politiek.

Fred neemt te veel risico's met zijn politiek engagement. Na bezoeken aan de Sovjetunie en Polen houdt Irène wijselijk haar mond, maar hij aarzelt niet Stalin in het openbaar te prijzen voor de wederopbouw. Dus wordt hij ervan verdacht gevoelige informatie over kernenergie en kernwapens aan het Oostblok door te geven. Op het nationale congres van de Communisti-

sche Partij beklimt hij het podium en verklaart: 'De progressieve wetenschappers, de communistische wetenschappers, zullen geen greintje van hun wetenschap beschikbaar stellen voor een oorlog tegen de Sovjetunie.' Het partijcongres applaudisseert maar de regering Bidault ontheft hem van zijn functie als hoofd van het Commissariaat voor Kernenergie. Naar Fred Joliot-Curie wordt niet meer geluisterd. Nu hij aan de kant is gezet, kan men beginnen met het ontwikkelen van de Franse atoombom.

Hoewel Irène Joliot-Curie nog steeds tb-patiënt is, blijft ze hoogleraar aan de Sorbonne, hoofd van het Radium-laboratorium in Parijs, en bouwt ze een nieuw laboratorium in Orsay. Zij publiceert artikelen over de rol van de vrouw in de moderne maatschappij. In 1947 spreekt zij in Parijs over kernenergie op een vrouwencongres. In 1948 opent zij in Polen, samen met de Engelse bioloog Julian Huxley, een groot internationaal congres van Intellectuelen voor de Vrede. In het blad *Femmes françaises* schrijft ze over het vrouwenkiesrecht: 'Kiesgerechtigde mannen en vrouwen, pas op dat de voortreffelijke formulering "het recht van de gehuwde vrouw zich aan haar gezin te wijden" niet verandert in de afschuwelijke uitspraak "de plicht van de gehuwde vrouw zich alleen aan haar gezin te wijden". Overtuig u ervan dat degenen op wie u stemt ook bereid zijn het recht van vrouwen te verdedigen om op basis van gelijkheid elk beroep te mogen uitoefenen.' Irène spant zich in voor modernisering van het onderwijs en schrijft: 'Het Franse volk moet ervan doordrongen raken dat wij behoefte hebben aan een groot aantal wetenschappelijk gevormde mannen en vrouwen, die onze toekomstige onderzoekers, ingenieurs, technici, landbouwkundigen en artsen zullen zijn.' Het Franse volk heeft naar Irène Joliot-Curie geluisterd, in Frankrijk is één op de twee fysici een vrouw.

B. Manfred Ullrich

In 1975 hield de president van het California Institute of Technology (Caltech) een plechtige bijeenkomst toen hem het nieuws bereikte dat een van de hoogleraren van Caltech benoemd was tot lid van de Academie voor Wetenschappen van Roemenië. Dit bracht een andere professor, James Mayer, op een idee en samen met een aantal collega's van de Faculteit Elektrotechniek ging hij over tot het oprichten van de 'Kaiserliche Königliche Böhmische Physical Society'. Oorkondes werden gedrukt op rijstpapier, voorzien van een zwarte adelaar, een groot rood lakzegel en de handtekeningen van H. H. Küllen (president) en B. Manfred Ullrich (secretaris). Enkele tientallen collega's van James Mayer, verspreid over de hele wereld, kregen zo'n oorkonde toegestuurd met een begeleidend schrijven, waarin werd meegedeeld dat hij of zij benoemd was tot lid van de Böhmische Society vanwege de grote verdiensten in... (en dan volgde het specialisme van betrokkene). Tegelijkertijd werden brieven verstuurd aan de directies van de researchlaboratoria van deze onderzoekers of aan de rector van hun universiteit, met inderdaad het beoogde effect. In verscheidene laboratoria en universiteiten over de hele wereld werden collega's van Jim Mayer door hun bazen in het zonnetje gezet. Het verhaal doet de ronde dat in het grote IBM Research Center in New York het werk werd stilgelegd en drie medewerkers in het openbaar werden gehuldigd voor hun baanbrekend onderzoek aan... Ook is er een foto van medewerkers

van Bell Labs, die lachend hun oorkondes aan hun directeur tonen.

In 1975 werd, tijdens het congres over Ion Beam Analysis in Karlsruhe, ook de eerste Böhmische bijeenkomst gehouden. De leden luisterden naar een voordracht over 'Wine Analysis with Ion Beams'. Na een korte voordracht hieven de leden van de Böhmische Society het glas. Dit zette scheve ogen bij de overige congresgangers in Karlsruhe, niet vanwege de wijn maar om het exclusieve karakter van dit vreemde gezelschap. Professor Jim Mayer omringde zich met een raad van wijze mannen, die de zorg kreeg voor het aannemen van nieuwe leden. Thans is het ledental reeds gestegen tot boven de driehonderd; de meeste zijn voorgedragen door vrienden en collega's, sommigen hebben zich zelf aangemeld. Een lid van de raad heeft de moeite genomen een dikke brief te schrijven om te verhinderen dat een van zijn eigen collega's lid zou worden van de Böhmische Society. Inmiddels zijn er vijftien Böhmische bijeenkomsten geweest, waarbij voordrachten gehouden werden over zulke onderwerpen als het gebruik van ionenbundels in de archeologie, in de astrofysica, in de moderne materiaalkunde, bij de analyse van kunstvoorwerpen, deeltjesversnellers en muziek, enzovoort.

Een paar jaar geleden kwam een collega uit Oeganda in ernstige moeilijkheden. Hij was kennelijk in ongenade gevallen bij Idi Amin. De ledenlijst van de Böhmische werd gebruikt voor een oproep om brieven te schrijven en wetenschappelijke publicaties te sturen naar deze collega in Oeganda, die volledig geïsoleerd dreigde te raken. Tot grote vreugde van iedereen was hij er op de laatste Böhmische bijeenkomsten weer bij. Canadese collega's waren bang dat ze hun researchbudget kwijt zouden raken. De ledenlijst van de Böhmische werd gebruikt en uit de hele wereld stroomden de aanbevelingen binnen. Daarop kon de hele groep verhuizen naar een nieuw laboratorium in Canada.

Op het visitekaartje van Liu Bai Xin staat achter zijn naam ver-

meld: Member of the Böhmische Physical Society. Grijnzend legt hij uit: 'Ik had niets anders om achter mijn naam te zetten, sinds de Culturele Revolutie is de doctorsgraad afgeschaft.' Liu Bai Xin is thans associate-professor in engineering physics aan de Tsinghua Universiteit van Peking. In 1981 was hij een van de eersten die van de nieuwe 'open policy' in zijn land gebruikmaakten, en hij werkte een jaar in Caltech. Nu is hij waarschijnlijk de enige Chinees die lid is van de Kaiserliche Königliche Böhmische Physical Society; tussen een miljard Chinezen heeft hij toch iets bijzonders.

Wie de computer van de universiteitsbibliotheek om de publicaties vraagt van B. Manfred Ullrich, krijgt een lange lijst van meer dan honderd wetenschappelijke artikelen over ionenbundels en hun toepassingen, allemaal verschenen sinds 1975. In navolging van prof. Jim Mayer hebben vele vakgenoten B. Manfred Ullrich als coauteur van hun wetenschappelijke publicaties toegevoegd. De meesten deden dit gewoon voor de grap, sommigen omdat ze wilden laten zien ook tot het illustere gezelschap te behoren, een enkeling koos B. Manfred Ullrich om tenminste een coauteur te hebben, zodat in de publicatie niet steeds het woordje 'ik', maar 'wij' zou komen te staan. B. Manfred Ullrich is niet alleen een veelschrijver geworden, wie de *Science Citation Index* erop naslaat, zal zien dat hij ook een van de meest geciteerde fysici is sinds 1975. Onlangs is er een dik boek verschenen bij Elsevier Science Publishers, met op de kaft als enige verantwoordelijke auteur: B. Manfred Ullrich. Het gaat hier om een bundeling van driehonderd bijdragen aan een groot internationaal congres over het gebruik van ionenbundels, dat door prof. Jim Mayer georganiseerd werd. Het heeft hem heel wat overredingskracht gekost bij Elsevier zijn zin te krijgen en zijn eigen naam van de kaft te houden. In zijn voorwoord legt B. Manfred Ullrich uit dat dit boek het resultaat is van de gezamenlijke inspanning van alle vakgenoten, die allen hebben bijgedragen als

onderzoekers, congresgangers, auteurs en referees, met een resultaat waarop allen trots kunnen zijn en waarvoor B. Manfred Ullrich hen hartelijk bedankt.

Vorig jaar werd professor James Mayer opgebeld door een collega die bij een sollicitatie te horen had gekregen dat hij onmogelijk een expert in het opgegeven vakgebied kon zijn want z'n naam kwam niet eens voor op de ledenlijst van de Böhmische Society. Ik vraag mij af of illustere gezelschappen als de Hollandse Maatschappij voor Wetenschappen, of de Koninklijke Nederlandse Academie voor Wetenschappen heel anders tot stand zijn gekomen dan de Kaiserliche Königliche Böhmische Physical Society.

Roger

Plotseling ging het alarm af, iedereen bleef verstijfd staan en keek naar het rode zwaailicht boven een van de poortjes. Twee mannen in witte pakken liepen voor de menigte langs naar Roger, die enigszins verdwaasd onder het zwaailicht stond. Ze streken met hun meetapparatuur langs zijn kleren en namen hem mee naar binnen. Het zwaailicht doofde en wij schuifelden opgelucht verder door de poortjes naar buiten. In de bus hoorde ik dat het niet de eerste keer was dat Roger het alarm deed afgaan. De stralingscontroleurs zouden hem eerder mee naar binnen hebben genomen. Daar had hij laag voor laag zijn kleren uit moeten doen, maar hierop werd geen straling gemeten en op zijn handen evenmin. Toch bleef de monitor alarm geven zodra hij er zelf bij ging staan. Dus moest hij ook zijn ondergoed inleveren maar ook daarop werd niets gemeten. Toen hij naakt voor de stralingscontroleur stond en deze met de detector langs zijn lichaam streek bleek zijn penis besmet met radioactiviteit.

Roger werkte in het plutoniumlaboratorium van het instituut waar ik als jong onderzoeker te gast was. Hij was beroemd om zijn kennis en berucht om zijn slordigheid. Hij had aan het eind van de dag voor het verlaten van het lab zijn handen niet gewassen en niet gemeten, was naar de wc gegaan, kennelijk met een radioactieve besmetting aan zijn vingers. Na het plassen had hij wel zijn handen gewassen, maar inmiddels zat de besmetting op zijn penis. Kerngeleerden moeten hun handen wassen voor en

na het plassen. Maar er was meer aan de hand, want het incident toonde aan dat de stralingscontroleurs niet bij de uitgang van het plutoniumlaboratorium de wacht hadden gehouden zoals zij verplicht waren. Gelukkig had de meetapparatuur bij de poort alarm geslagen zodat de radioactieve besmetting niet buiten het hek van het instituut kwam.

Het Parijse Instituut voor Nucleaire Bescherming en Veiligheid organiseerde een congres over kernongevallen zoals recent in het Japanse Tokai Mura. De kerngeleerden bespraken achtenvijftig criticaliteitsongevallen sinds 1945: zevenendertig in onderzoeksreactoren en laboratoria (met tien doden) en eenentwintig ongevallen in nucleaire opwerkingsinstallaties (met zeven doden). De wetenschappers concludeerden dat er vanaf 1950 tot midden jaren zestig gemiddeld een ongeluk per jaar gebeurde. Dat liep terug naar een in de tien jaar. De analyses laten zien dat geen enkel ongeluk voornamelijk toegeschreven kan worden aan technisch falen of rekenfouten. De belangrijkste oorzaak is menselijk falen.

Ik ben bang dat in de komende jaren het aantal kernongevallen weer zal toenemen. Juist dit vak heeft behoefte aan hoogopgeleide mensen maar de pioniers zijn met pensioen en jonge ingenieurs gaan geen kernenergie studeren, waardoor het aantal deskundigen schaars is. Bovendien is er, onder druk van de economie, bezuinigd op het aantal stralingscontroleurs. Uit oogpunt van efficiency wordt ervan uitgegaan dat de technici zichzelf controleren. De kans op menselijk falen zal stijgen en ook de kans dat het niet op tijd gedetecteerd wordt.

Jaap had gelijk

De laatste keer dat ik Jaap Rodenburg zag stonden we naast elkaar in de rij om Gijs Vercuyk, de nieuwe hoogleraar windenergie in Delft, te feliciteren. In het receptieboek schreef Jaap onder zijn naam 'Greenpeace', daarom zette ik onder mijn naam 'ECN', dat vond ik wel leuk zo gebroederlijk samen op dezelfde bladzijde.

Op bijeenkomsten in de energiewereld zochten Jaap en ik elkaar altijd op en discussieerden steeds even over hetzelfde onderwerp. Jaap wilde graag gelijk krijgen, ik ook en nog het liefst van hem. Dat was zo gekomen sinds de hoorzitting in de Tweede Kamer over opwerking van Nederlandse splijtstof. Ik verdedigde daar het standpunt dat opwerking het beste was, maar Jaap stal de show. Hij gaf zijn spreektijd aan omwonenden van La Haque, Sellafield en Dounray, mensen die afschuwelijke verhalen vertelden over de gevolgen van lozingen en besmettingen veroorzaakt door de opwerkingsfabrieken. Vooral Dounray moest het ontgelden en dat trok ik mij aan want daarmee heeft ECN een opwerkingscontract in verband met de productie van Molybdeen 99, een radio-isotoop waarmee in het afgelopen jaar minstens vijf miljoen patiënten in Europese ziekenhuizen gediagnosticeerd zijn. Mo 99 is een splijtingsproduct dat in de reactor in Petten geproduceerd wordt en langs chemische weg uit de splijtstof wordt gehaald, waarna we het bestraalde materiaal naar Dounray sturen voor recycling. Een keurige kringloop en

een belangrijke medische toepassing, waarom zou Greenpeace daar tegen zijn?

De kritiek was zwaar en met gevoel voor dramatiek door Jaap Rodenburg perfect geregisseerd. Een inwoner van Dounray kwam vertellen dat de opwerkingsfabriek een aftandse troep was, dat er niet voldoende bekwaam personeel werkte, dat men zich niet aan de voorschriften hield, dat er op bepaalde plaatsen zoveel radioactief afval gedumpt werd dat er zich spontaan een explosie had voorgedaan, en dat een kasteel in de omgeving, vroeger een toeristische trekpleister, nu zo besmet is dat men er niet meer mag komen.

'Hoe kunt u met zo'n bedrijf nog zaken doen?' vroeg een van de Kamerleden mij. Ik antwoordde dat Dounray deel uitmaakt van de UKAEA en onder internationaal toezicht staat van de IAEA in Wenen en dat zolang Dounray een vergunning heeft ik geen reden heb om te twijfelen aan de kwaliteit van hun opwerkingsproces, en dat de recycling van de bestraalde splijtstof toch beter is voor het milieu dan alsmaar nieuw uranium aanmaken, en dat stoppen van de productie van radio-isotopen vijf miljoen patiënten in moeilijkheden zou brengen.

Kennelijk was minister Wijers gerustgesteld. Maar Jaap Rodenburg niet en dat begreep ik niet. Tot vorige maand bekend werd dat de UKAEA een audit heeft laten houden in Dounray. De officiële bevindingen zijn dat men niet aan de vergunning voldoet en daaraan ook niet zal kunnen voldoen, zodat deze is ingetrokken.

Jaap had gelijk, maar nu kan ik het hem niet meer geven, want Jaap is niet meer. In het receptieboek van Gijs Vercuyk staat mijn naam in het vakje onder Jaap Rodenburg, Greenpeace.

Buitenaards bellen

FWS: Met wie spreek ik?

Marconi: Guglielmo Marconi.

FWS: O werkelijk, de maker van dit instrument?

Marconi: Neen ik ben de ontwerper, het instrument dat mijn naam draagt is gebouwd door Erich Ernecke in Berlijn aan wie ik toestemming gaf mijn apparatuur na te bouwen en te verkopen. Teylers Museum kocht regelmatig instrumenten gemaakt door Ernecke via de instrumentenhandel van Marius te Utrecht. In 1897 verwierf conservator Van der Ven daar mijn instrumentarium voor *f* 175,25.

FWS: Kunt u mij uitleggen hoe het werkt?

Marconi: Daarvoor geef ik graag de conservator dr. E. van der Ven het woord, immers op 19 en 26 januari 1898 hield hij een lezing met demonstraties waarover de *Oprechte Haarlemsche Courant* schreef: 'De proef van Marconi lukte glansrijk: morseseinen werden hoorbaar en zichtbaar overgebracht, zelfs toen de zender in een nevenvertrek van de aula werd opgesteld. De voordracht, dikwerf afgebroken na het welslagen van een verrassende proef door de toejuichingen der aanwezigen, werd met groote aandacht gevolgd.'

Van der Ven: Het instrumentarium volgens Marconi dient om zonder behulp van draden door middel van elektrische stroom berichten op verre afstand over te brengen. Het telegraferen zonder draden scheen in 1897 onze oude bekende elektrische telegraaf te zullen verdringen, maar dit kon ik niet geloven. Om redenen die op onze bolronde aarde niet zijn weg te nemen, zou het volgens mij wel nooit anders dan op betrekkelijk kleine afstanden en voor bepaalde doeleinden uitvoerbaar zijn. Als collegeproef was het echter een der meest interessante van heel het Teylers Museum. Men gebruikt daarbij onderdeel No. 862 als afzender of seingever. Tussen de twee bollen heeft, in olie, een ontlading plaats van hoge frequentie, die naar willekeur kan worden afgebroken door een sleutel, gelijk aan die waarmee bij het gewone telegraferen de stroom onderbroken wordt. Gaat deze stroom door, dan ontstaan er in de ruimte rondom de afzender elektrische golven, die zich met de snelheid van het licht voortplanten en op het toestel No. 863 – de ontvanger – aankomend een breuk in de geleiding van een daar opgewekte stroom helen. Wordt echter de stroom in de afzender onderbroken, dan geschiedt dit ook met de reeks elektrische golven in de ruimte. Het gevolg is dat net zolang als door de afzender seinen worden gegeven, de ontvanger getroffen wordt door een reeks golven die elkaar opvolgen geheel in de maat met de afbrekingen van de seingever. De stroom in de ontvanger wordt dus op precies dezelfde wijze onderbroken en hersteld als in de afzender. Wanneer men aan de plaats van verzending en ontvangst dezelfde betekenis is overeengekomen van de opvolgende verbrekingen, zoals met morseseinen, dan kan men van daar naar hier zijn gedachten kenbaar maken.

Marconi: Ik wil dr. Van der Ven wel excuseren, want in mijn geboorteland Italië geloofde men evenmin in de bruikbaarheid van mijn ontdekking. Daarom ging ik naar familie in Engeland,

waar ik in 1897 de Marconi Company oprichtte. Eigenlijk was de lange afstand waarover ik draadloos kon telegraferen voor mijzelf ook een grote verrassing. Nadat ik in Poldhu, Cornwall, zenders had opgesteld waarmee berichten verstuurd konden worden naar de Kanaaleilanden, reisde ik naar Crookshaven aan de westkust van Ierland en daar, 225 zeemijl van Poldhu, ontving ik zo'n sterk signaal dat ik kon uitrekenen genoeg intensiteit te hebben voor draadloze telegrafie over de Atlantische Oceaan. Op 26 november 1902 verliet ik in het geheim Engeland om koers te zetten naar New Foundland, waar wij 9 december arriveerden. Wij hadden een grote ballon meegenomen om onze antenne hoog in de lucht te brengen, maar bij het opblazen schoot de ballon los en ging verloren. Samen met m'n assistenten heb ik toen de antenne met vliegers in de lucht gebracht tot een hoogte van 400 ft en meteen ontvingen wij de afgesproken morseseinen uit Engeland, tweeduizend zeemijl van ons vandaan.

Maar nu ik u toch aan de lijn heb, of hoe zeg je dat bij het hedendaagse draadloze bellen, mag ik u vragen hoe u zomaar vanuit Teylers Museum met dr. Van der Ven en mij hier boven in contact komt?

FWS: Ik heb zojuist de allernieuwste mobiele telefoon gekocht, zo eentje waarmee je via de satelliet kan bellen. Daarna ben ik in Teylers Museum op zoek gegaan naar het laatste apparaat dat aan de verzameling fysische instrumenten is toegevoegd en werd door de huidige conservator verwezen naar kast IV van het Nieuwe Museum. Bij het instrument dat uw naam draagt heb ik het nummer uit de catalogus op mijn toestel getypt, voorafgegaan door 000 voor buitenaards bellen, en toen kreeg ik u zowaar aan de lijn. Kennelijk kan je tegenwoordig met draadloos telefoneren via de satelliet in contact komen met Teylers' uitvinders en hun conservatoren. De Ultieme Gids.

Van der Ven: Nu ik na bijna honderd jaar weer even in contact ben met mijn museum zou ik nog een proef willen doen en proberen of ik van hierboven naar uw toestel kan faxen. Dan stuur ik een tekening van een opstelling die door mijn amanuensis is gemaakt, want in Teylers Museum werden met de Marconi-apparatuur ook op grotere schaal proeven gedaan, kom daar nog eens om tegenwoordig. De zender, opgesteld in het hoofdgebouw van het museum, kreeg de bliksemafleider daar als antenne. De ontvanger, opgesteld in het Fundatiehuis, kreeg de bliksemafleider in de Damstraat als antenne. Het schema fax ik u nu. Ben benieuwd of het overkomt.

Wetenschappelijke slechteriken

De paus mag Galileï rehabiliteren, maar zou Bertolt Brecht hem ook vrijspreken? In de eerste versie van *Leben des Galilei*, geschreven toen Brecht voor de nazi's naar Denemarken was gevlucht, is Galileo de intellectueel die vecht voor de waarheid tegen de onderdrukking door de Kerk en andere autoriteiten. Hij lijkt zich over te geven aan de Inquisitie, maar in het geheim werkt hij aan de ware wetenschap en zijn *Discorsi* wordt over de grens gesmokkeld. Toen dit stuk in 1947 in de VS werd gespeeld, moest Brecht voor de House Un-American Activities Committee verschijnen en zich verantwoorden voor de marxistische ideologie in zijn werk. Op dat moment had hij juist van Galileo een veel minder grote held gemaakt in een nieuwe versie van het toneelstuk. Na de bommen op Hiroshima en Nagasaki wordt Galileo in de ogen van Brecht het prototype van de amorele wetenschapper, een misdadiger tegen de maatschappij. Brecht richt zijn kritiek op de scheiding tussen wetenschap en samenleving, de cultus van *scientia gratia scientitiae*, die uiteindelijk het gedrag heeft mogelijk gemaakt van Oppenheimer en zijn collegae in het Manhattanproject. Zei Enrico Fermi niet over de bom: 'Don't bother me with your conscientious scruples – after all, the thing is beautiful physics.'

Zo komt Galileo als een van de weinige historische wetenschappers in de westerse literatuur op één lijn te staan met figuren als dr. Faust, dr. Frankenstein, dr. Moreau, dr. Jekyll, en dr.

Strangelove. Zij bepalen in veel sterkere mate het maatschappelijk beeld van de wetenschap dan de wetenschappers zelf, ondanks Newton, Curie en Einstein. Dit is de stelling die Roslynn D. Haynes verdedigt in haar boek *From Faust to Strangelove, Representations of the Scientist in Western Literature* (The Johns Hopkins Univ. Press, 1995).

Het boek begint met de alchemist in Chaucers *Canon's Yeoman's Tale* (1387), die zich niet bezighoudt met het maken van goud maar te ver reikt, naar 'het geheim der geheimen'. De bekendste alchemist in de literatuur is doctor Faust, die voor het eerst verschijnt in *Historia von D. Johann Fausten*, een anoniem verhaal uit 1587, waarin Faust zijn ziel verkoopt aan de duivel teneinde kennis van God te bemachtigen. Hij leert echter niets van belang en zijn 'magische' krachten stellen hem slechts in staat tot goedkope goochelarij.

Dan volgen de lachwekkende virtuozen die door de literatuur voor gek worden gezet. Het zijn de vliegtuig- en trein-'spotters' van vandaag. In Samuel Butlers satire gaat het om een muisje in de telescoop, dat wordt aangezien voor een olifant op de maan. Hier wordt de verstrooide professor geridiculiseerd, en het verzamelen van meetgegevens door encyclopedisten, omdat men naar wonderen zoekt in plaats van naar waarheid.

Een bekend beeld van de wetenschapper is dat van de toegewijde idealist, wiens ontdekkingen beloften inhouden voor een Utopia. De bewoners van Salomon's House in *New Atlantis* (1626) van Sir Francis Bacon doen onderzoek niet om het plezier van de ontdekking, niet om zich superieur te voelen aan anderen, niet om zich te verrijken of beroemd te worden. Zij bedrijven 'filantropie' tot heil van de mensheid en om alles wat mogelijk is ook werkelijk te realiseren. Van Francis Bacon stamt: 'kennis is macht'. Zijn ideaal en ook dat van zijn navolger in de twintigste eeuw, H.G. Wells, staat of valt met het moreel besef van de onderzoeker. Hoewel filosofen als Popper, Kuhn en

Feyerabend hebben laten zien hoe het met de idealen van de wetenschap werkelijk gesteld is, blijft het beeld van de onbevooroordeelde waarheidszoeker in stand, vooral bij de wetenschappers zelf.

In schril contrast met de koude emotieloze onderzoekers staan de romantici, die hun ziel en zaligheid in dienst stellen van de wetenschap. De beroemdste romanticus is de titelheld van Goethes *Faust* (1805 en 1832), een eminent geleerde die thuis is in alle wetenschappen en met de alchemisten gemeen heeft dat hij zich tot de magie keert om het laatste geheim der natuur van binnen uit te leren kennen. Goethe transformeert Fausts traditionele vraag naar kennis in een drang naar spirituele eenwording met de natuur. Goethes Faust wil niet meer wéten maar meer zíjn dan andere mensen. Hoe het romantici vergaat is ons vooral bekend uit Mary Shelleys *Frankenstein*. Frankenstein is tegelijkertijd wetenschappelijk rationalist en gepassioneerd idealist. Ontevreden met het verzamelen van feiten creëert hij leven uit dode materie. Het monster dat ontstaat heeft hij echter niet in de hand, mede doordat Frankenstein zich als onderzoeker van het gewone maatschappelijk leven isoleert. Op één lijn met Faust en Frankenstein staat ook dr. Moreau (H.G. Wells, *The Island of Dr. Moreau*, 1896). Een fanatieke bioloog die, na een schandaal met vivisectie, buiten Engeland op een eiland leeft waar hij Darwins 'survival of the fittest' toepast op dieren die hij het leven zuur maakt teneinde menselijke wezens te creëren. Moreau negeert morele codes: 'I went on with this research just the way it led me. That is the only way I ever heard of research going. The thing before you is no longer an animal, a fellow-creature, but a problem.' Net als Frankenstein valt Moreau ten prooi aan een van zijn monsters. Hoe meer Moreau tracht van het beest een mens te maken, hoe meer hij in de mens het beestachtige bloot legt.

De literatuur heeft niet alleen een kritisch beeld geschapen

van de wetenschapper in onze maatschappij, de literatuur heeft ook de technologie van de toekomst verwoord. Roslynn Haynes geeft twee voorbeelden. In 1914, vijfentwintig jaar voor de ontdekking van kernsplijting, publiceert H.G. Wells *The World Set Free* waarin de natuurkundige, Holsten, het mechanisme vindt van atomaire kettingreacties. Hij besluit zijn ontdekking geheim te houden omdat hij bang is dat zijn kennis zal leiden tot een 'atoombom'. In 1921 publiceert Karel Capek het beroemde toneelstuk *R.U.R.* waarin de fysioloog, Rossum, een kloon van de mens weet te maken. Samen met zijn zoon begint hij een fabriek van 'robots', die niet van gewone mensen te onderscheiden zijn maar in hun plaats gebruikt kunnen worden als soldaten.

Zelf vergelijk ik onderzoekers graag met ontdekkingsreizigers. Op school verslond ik de heroïsche avonturen van Jules Vernes geologen en oceanografen, maar toen in 1956 Hillary en Tensing de Mount Everest beklommen, verdween het laatste witte vlekje van onze globe. De wereld van de wetenschap heeft echter nog vele witte plekken te ontdekken. Waar de expeditie naartoe gaat wordt niet alleen door wetenschappers bepaald, maar vooral door de sponsors. De literatuur laat zien dat de maatschappij benieuwd is naar onze ontdekkingen, als wij maar bereid zijn tot communicatie. Roslynn Haynes zegt het zo: 'By failing to discuss with nonscientists what they are doing, scientists not only endanger society but limit themselves and their research in a number of ways. They may fail to perceive directions that would be profitable to their work; they may fail to convince funding bodies that what they are doing has any economic or social value; they may be left with no control over what is done with their research; and they will almost certainly be diminished as people.'

Ontdekkingen bij Mulisch

Natuur- en sterrenkunde spelen een belangrijke rol in *De ontdekking van de hemel* van Harry Mulisch. Omdat de hemel ontdekt heeft dat de mens sinds de opkomst van de moderne wetenschap niet meer aan God maar alleen aan zichzelf gelooft, wordt het verbond met de mensheid opgezegd. In een fenomenale plot die in mensenogen alleen op toeval kan berusten, maar in werkelijkheid door een onzichtbare hand wordt gestuurd, gaan de tien geboden terug naar de hemel. En passant doet Mulisch zelf twee ontdekkingen op het gebied van natuur- en sterrenkunde die een nadere analyse waard zijn.

1. Iedereen weet dat als wij naar een ster kijken, het licht van die ster lang door de ruimte heeft gereisd voordat het ons oog treft. Daarom zien wij licht dat lang geleden is uitgezonden en nemen wij de ster waar op een positie en in een toestand die inmiddels veranderd zullen zijn. De dichtstbijzijnde ster zien wij op een plek en met een helderheid van vier jaar geleden, wij kunnen ook sterren waarnemen die miljoenen lichtjaren hiervandaan staan en zien ze dan in een toestand van miljoenen jaren geleden. Hoe zij er thans uitzien, kunnen wij nu nog niet waarnemen. Mulisch draait het om en vraagt zich af hoe de aarde eruitziet als je er vanuit de sterren naar zou kunnen kijken. Van de dichtstbijzijnde ster kan je de aarde zien in een toestand zoals die hier vier jaar geleden was en vanuit een ster die op een afstand van duizend lichtjaren staat, moet je de aarde kunnen

zien zoals die er duizend jaar geleden uitzag. Door het heelal zweven, volgens Mulisch, alle beelden van de hele geschiedenis van onze aarde vanaf haar ontstaan tot het heden.

Strikt genomen is dit niet helemaal correct want er zweven geen beelden door het heelal maar lichtstralen. Pas door te kijken, het licht te focusseren, zou men een afbeelding kunnen maken van onze aarde, vier, duizend of een miljoen jaar geleden. Hoe fascinerend dat ook is, wij zullen die beelden uit onze eigen geschiedenis nooit met onze eigen ogen zien want daarvoor zouden wij ze moeten inhalen en dus sneller door het heelal moeten kunnen reizen dan het licht. Helaas is ons dat niet gegeven. Wel kunnen ruimtereizigers in de toekomst een oogje in het zeil houden door af en toe achterom te kijken naar de aarde om te zien wat er na hun vertrek van terecht is gekomen.

Mulisch zou toch liever de beelden van onze geschiedenis willen zien en dus heeft hij bedacht dat hemellichamen het licht weerkaatsen. In principe zouden wij dus onze eigen geschiedenis moeten kunnen waarnemen door naar het licht te kijken dat de aarde in het verleden heeft uitgezonden en dat weerkaatst wordt door alle hemellichamen in het heelal, terug naar de aarde. Ook dit idee is fascinerend als het kon, maar dan moet wel een aanzienlijk deel van het licht dat door het heelal reist teruggekaatst worden, en dat is niet zo. In de sterrenkunde is dit bekend als de Olbers-paradox. Als het licht niet zou ontsnappen en altijd wel ergens in het heelal zou worden teruggekaatst, dan zou de hemel in de nacht net zo licht zijn als overdag. Dat is niet het geval omdat er in het heelal zo weinig materie is dat de vrije weglengte van het licht groter is dan de omvang van ons heelal. De recent ontdekte 'donkere materie' zal ons in deze niet helpen, want de wisselwerking met licht is kennelijk zo gering dat deze materie 'onzichtbaar' is. Het licht ontsnapt dus en daarmee gaat ook onze geschiedenis voorgoed verloren.

2. Mulisch beschrijft een sterrenkundige die plotseling be-

denkt dat de onbegrijpelijke signalen die hij zojuist heeft opgevangen, afkomstig zouden kunnen zijn van de plek in het heelal waar we naar de oorspronkelijke oerknal kijken. De signalen vanuit deze plek zouden nog meer roodverschuiving vertonen dan tot nu toe was waargenomen en daarom leek alles eerst zo onbegrijpelijk. De sterrenkundige heeft opeens het oneindig-kleine, oneindig-dichte, verdwijn/verschijnpunt, de hemel zelf, ontdekt. Hij zal het niet na kunnen vertellen want hij wordt onmiddellijk door een steen uit de hemel gedood.

Dit is natuurlijk een fascinerend beeld maar wij mensen zullen de oerknal nooit zó kunnen zien. Alleen vanuit een positie buiten ons heelal zou men de oerknal misschien kunnen waarnemen zoals Mulisch die beschrijft, een oneindig kleine punt waaruit alles tevoorschijn komt. Helaas is ons mensen ook dit niet gegeven want wij zitten midden in die punt. Wij staan er niet buiten maar wij maken deel uit van de oerknal en zien om ons heen een uitdijend heelal. Wij kunnen onmogelijk buiten ons heelal staan om te kijken hoe dit uitdijt. Dit is niet de positie van de mens maar die van God.

Enige tijd hebben natuur- en sterrenkundigen werkelijk geloofd de positie van God te kunnen innemen en zij hebben dat ook rondgebazuind. Dit heeft onder andere bijgedragen tot massale geloofsafval en overdreven verwachtingen die door de wetenschap gekoesterd werden. Volgens Mulisch zal de zogenaamde beheersing van de natuur door wetenschap en technologie ertoe leiden dat 'de mensen uiteindelijk zichzelf nucleair zullen opstoken, verbranden via het gat dat zij in de ozonlaag hebben geslagen, oplossen in de zure regen, braden in het broeikaseffect, elkaar dooddrukken door hun aantallen, zichzelf ophangen aan de dubbele helix van het DNA, stikken in hun eigen afval...' Wetenschap en technologie gaan gewoon voort op de noodlottige weg, onder leiding van natuur- en sterrenkundigen, hoewel de ontwikkelingen van de laatste tijd, ook in de weten-

schap zelf, aanleiding zouden moeten geven tot een minder arrogante houding en meer respect voor de onzichtbare hand.

In *De ontdekking van de hemel* heeft Mulisch het over: geloven aan God. Hij doet dit consequent door het hele boek, zodat ik aan mijzelf ging twijfelen. Ik meende dat het slecht Nederlands was want het moet toch zijn: 'geloven in'? Dus heb ik het opgezocht in Van Dale. Daar vond ik geloven in, maar even verder las ik: 'geloven aan – eraan moeten geloven, je zult je moeten onderwerpen aan het onvermijdelijke, je moet het doen, hoe onaangenaam het ook is'.

Als u Mulisch' monumentale roman nog ongelezen op het nachtkastje heeft liggen dan zult u er toch aan moeten geloven.

Het Casimir-effect

'Zou een toekomstige archeoloog, die het over enige duizenden jaren aan zal durven in de nog steeds radioactieve puinhopen van onze door kernwapens vernietigde beschaving te gaan graven en die door een wonder een nog gave collectie van gedichtenbundels en bloemlezingen van gedichten in handen krijgt, zou die archeoloog daaruit ook enigermate een inzicht krijgen in onze huidige maatschappij?'

Als door een wonder vindt de archeoloog boven in de puinhopen van de beschaving niet Komrij maar Casimir in een bundeltje met de laatste vijftien jaargangen van *De Gids*. Aan het koord zit een vergeeld briefje waarvan alleen nog leesbaar is: 'De redactie van *De Gids* was voor Henk een van de kringen waarin hij zich thuis voelde. Hij ging steeds met plezier naar Amsterdam en had ook buiten de vergaderingen nog contact met verschillende leden van de redactie. Zijn stukje over Vitruvius was zijn allerlaatste publicatie.' Zou de studie van dit bundeltje de basis kunnen vormen van een dissertatie over de archeologie van Amsterdam in de twintigste eeuw? Zou *De Gids* met de bijdragen van H.B.G. Casimir wel 'enigermate inzicht' geven in de cultuur van de eenentwintigste eeuw?[1]

Het citaat over de archeoloog komt uit 'Dichtkunst en natuurwetenschappen', Casimirs bijdrage aan het jubileumnummer van *De Gids* in 1987, de honderdvijftigste jaargang. Met veel genoegen en waardering schrijft hij over Goethe, Lewis Carroll,

T.S. Eliot, Valery, Rilke, Bjørnson, maar met enige weemoed constateert hij dat uit hun gedichten geen inzicht te krijgen is in de huidige maatschappij. Daarvoor doen de dichters te weinig techniek in hun poëzie.

Het citaat toont ook weinig optimisme over de afloop van de Koude Oorlog. Dit standpunt is opmerkelijk voor iemand die eerst als directeur van het Philips Natuurkundig Laboratorium en later als lid van de raad van bestuur van Philips, mede verantwoordelijk was voor de ontwikkeling van wapentuig. Voor sommigen was Casimirs standpunt niet minder dan nestbevuiling en onbegrijpelijk voor zo'n eminent geleerde. Casimir schroomde echter niet zijn mening luid en duidelijk te verkondigen. Hij beschouwde het als zijn plicht. Toen *De Gids* na het schandaal rond het toneelstuk van Fassbinder een themanummer wijdde aan *de bom, het vuil, de stad, de jood* schreef Casimir over de bom: 'Wanneer ik lees over natuurrampen, over aardbevingen en vulkaanuitbarstingen, over wervelwinden en overstromingen, dan word ik telkens opnieuw getroffen door de milde goedertierenheid van moeder aarde. Want hoe klein, hoe onschuldig zijn deze storingen vergeleken met wat wij mensen onszelf kunnen aandoen.' Vervolgens merkt hij op dat 'strategisch' niet langer staat voor de grote lijnen van een militair actieplan, maar voor de vernietiging van steden en industrieën en het doden van zoveel mogelijk burgers. Hij besluit met: 'Ik vind ondanks alles het de moeite waard te vechten voor het voortbestaan van onze cultuur... wat zeg ik, voor het voortbestaan van menselijk leven op aarde.'

Hier toont Casimir zich van de generatie fysici waarover hij zo graag sprak en schreef: Ehrenfest, Pauly, Einstein, de Amerikanen Wheeler, Rabi, Condon, maar vooral Bohr. De generatie die trots was op de ontwikkeling van de moderne natuurkunde die zij tot stand had gebracht maar die achteraf ook wroeging kreeg over de ontdekking van kernsplijting en de ontwikkeling van de bom.

Over deze generatie schreef Casimir zijn eerste stuk als redacteur van *De Gids* in 1985, het honderdste geboortejaar van Niels Bohr. Het stuk gaat uitgebreid in op de moderne natuurkunde, hoe die geïnterpreteerd moet worden en wat het betekent voor ons begrip van de wereld om ons heen. Het stuk toont Casimir meteen op zijn sterkst: niet theoretisch en abstract, maar persoonlijk en anekdotisch. Om de moderne natuurkunde te beschrijven zit Casimir aan de voeten van Bohr, Pauli en Ehrenfest. Hij luistert en verhaalt met gevoel voor stijl en detail, bescheiden van toon maar toch prominent aanwezig. Het is zijn verhaal, soms zijn de anekdotes persoonlijk ingekleurd en boeiender gemaakt, dat doet er niet toe, de bedoeling is oprecht. Als Casimir vertelt dan gaat het ergens over, hij zal zijn gehoor niet irriteren en 'wat het ergste van alles is', vervelen. Toch is hij zorgvuldig, in zijn stijl en in zijn persoonlijke benadering, hij zal niet kwetsen, hij heeft geen haast, geen angst om onderbroken te worden. Hij schroomt niet kritiek te uiten, zijn oordeel over mensen is altijd origineel, afgewogen, mild en zal geaccepteerd worden ook door de bekritiseerde zelf. Casimir heeft gezag en schrijft met ervaring uit gezaghebbende kringen. Hij voorziet ons van contact met een voorbije generatie. Dat maakt hem legendarisch ook in de internationale fysische gemeenschap.

Toch zou hij nooit zo'n prominente plaats hebben ingenomen als hij niet een bijzondere ontdekking had gedaan. Casimir voorspelde dat twee vlakke platen in vacuüm dicht bij elkaar gebracht een zekere aantrekkingskracht op elkaar uitoefenen. Toen hij het aan Bohr vertelde was diens reactie: 'Dat is aardig, dat is wat nieuws. Dat is iets met de nulpuntsenergie.' Toen wist Casimir dat het goed zat met zijn ontdekking. Pas jaren later werd het 'Casimir-effect' experimenteel aangetoond in het Philips Natuurkundig Laboratorium door Sparnaay in proeven met ultrahoog vacuüm. Het was maar een bescheiden kracht die Casimir ontdekte. Zelf vond hij het nauwelijks de moeite, of was

hij te bescheiden om erover te schrijven? In het 'Pak van Sjaalman' (*De Gids* nov. 1984) kreeg Casimir het onderwerp: 'Over de oude stellingen omtrent het: *horror vacui*.' Wat was er nu meer voor de hand liggend dan dat hij in dit opstel zou schrijven over de ontdekking van het Casimir-effect, maar zijn opstel vertelt over de proeven van Torecelli en Pascal en hoe moeilijk het technisch is om de toestand van superhoog vacuüm te bereiken. Voor de lezers van *De Gids* leek hem dat interessanter dan het Casimir-effect. Met zijn bijdragen aan *De Gids* beoogde Casimir misschien een ander effect?

In 1984 had de redactie van *De Gids*, als hommage aan Multatuli, honderdzevenenveertig auteurs uitgenodigd aan een van de onderwerpen uit het Pak van Sjaalman een verhandeling, gedicht of verhaal te wijden. De auteurs werden gekozen op grond van hun mogelijke affiniteit met het aanbevolen onderwerp. Tussen de kunstenaars, politici, journalisten, historici, taal- en letterkundigen, psychologen, sociologen, economen, waren S.R. de Groot en H.B.G. Casimir de enige vertegenwoordigers uit de exacte wetenschappen. 'Moet ik me werkelijk gaan verdiepen in oude en verouderde denkbeelden over het vacuüm?' zo begint Casimir zijn bijdrage. 'Ik voel er weinig voor, want Blaise Pascal (1623-1662) heeft dat meer dan drie eeuwen geleden al zo duidelijk en welsprekend gedaan, dat ik me liever op hem beroep dan dat ik tot oudere bronnen terugkeer.' Hij vertelt van het experiment met een afgesloten buis gevuld met kwik. Deze wordt met de duim dichtgehouden en omgekeerd in een bak met kwik gedompeld, de duim wordt weggehaald en er vloeit kwik uit de buis in het bakje. Het kwik in de buis blijft echter op een bepaalde hoogte hangen. Deze hoogte is wat wij tegenwoordig de barometerstand noemen. Op Pascals verzoek was op 19 september 1648 diens zwager vanuit Clermont de Puy de Dome opgewandeld, had het experiment met de kwikbuis gedaan en de hoogte van het kwik in de buis gemeten. Boven bleek die 8

centimeter lager dan beneden in Clermont. Dit overtuigde Pascal ervan dat het de luchtdruk is die het kwik in de barometerbuis omhoog houdt en niet de geheimzinnige afschuw van het vacuüm. Dan maakt Casimir een sprong van drie eeuwen in de tijd en stelt vast dat wij geen moeite meer hebben met het denkbeeld van een lege ruimte en ook is onze technische vaardigheid in het leegpompen enorm toegenomen. En toch, bij de allerhoogste vacua die we tegenwoordig kunnen bereiken, zijn er per kubieke meter nog altijd miljarden atomen aanwezig. 'We zien dat vaker in de ontwikkeling van de natuurkunde. Nieuwe inzichten komen tot stand aan de hand van een wat vereenvoudigde voorstelling van zaken.' Zo geeft Casimir een levendig beeld van wetenschappelijk onderzoek en tegelijkertijd relativeert hij de verworvenheden ervan. Zo past de natuurkunde in het Pak van Sjaalman, beter dan wanneer hij had geschreven over het Casimir-effect.

In 1987 bestond de Leidse universiteitsbibliotheek vierhonderd jaar. Zijn feestrede wijdt Casimir aan de plaats van natuurwetenschap en techniek in onze cultuur. Op gevaar af de stemming een beetje te bederven uit hij zijn teleurstelling over de catalogus uit de achttiende eeuw. Het aankoopbeleid van de bibliotheek blijkt ten tijde van de verlichting vooral gericht op de humaniora en de verwerving van natuurwetenschappelijke werken was vaak een kwestie van toeval. Zo bleek achteraf de *Principia* van Newton deel uit te maken van de collectie Vossius die men eigenlijk te duur vond om aan te schaffen. Casimir merkt op dat Leibniz, Hobbes en Spinoza niet in de catalogus voorkomen. 'Ik krijg – waarschijnlijk ten onrechte – de indruk dat dit op een zekere mate van bekrompenheid van de leiders der bibliotheek wijst.' Vervolgens stelt hij zijn feestelijk gehoor de vraag of wij na vier eeuwen Leidse universiteitsbibliotheek en na meer dan vijf eeuwen boekdrukkunst het einde naderen van het boek. Zullen de televisie en de computer deze rol niet over-

nemen? Hoewel hij van internet nog niet kan weten, is hij ervan overtuigd dat het verspreiden, opslaan en terugvinden van wetenschappelijke gegevens elektronisch zal gaan gebeuren. Ook voorspelt hij de mogelijkheid teksten te lezen en te bewerken van platte tv-schermen op zakformaat. 'Voor een diepzinnig mathematisch-fysisch boek en voor de schone letteren wordt het anders en ik kan me niet goed voorstellen dat ik afstand zou willen doen van gedrukte gedichtenbundels, al moet ik toegeven dat een elektronische bundel geïllustreerd met voordrachten ook aantrekkelijk zou zijn.'

Er zijn nóg twee kanten van Casimir zichtbaar in een kleine passage uit deze rede: 'Ik herinner me nog goed hoe ik in 1966, in het kader van een missie voor de OESO – eigenlijk ben ik tegenstander van het vertalen van acroniemen, er zijn er toch al te veel, ik praat liever over de OECD – een lang onderhoud had met topmensen van IBM. Ze zetten uiteen dat hun belangrijke positie op het gebied van computers niet het resultaat was van een aanvankelijke voorsprong op het gebied van wetenschap en techniek, maar het gevolg van een voortdurende druk van hun klanten in het bank- en verzekeringswezen.' De eerste zin toont de kosmopoliet, de tweede zijn beeld van onze culturele ontwikkeling door de werking van wat hij zou noemen: de wetenschap-en-technologie-spiraal. En alleen Casimir weet er nog aan toe te voegen dat Simon Stevin, Nederlands grootste wiskundige uit de zestiende eeuw, zijn eerste boek schreef over renteberekeningen en pas later over het gebruik van decimale breuken.

De Leidse universiteit valt niet alleen milde kritiek ten deel, met warmte en nostalgie kijkt Casimir terug naar zijn leermeester Paul Ehrenfest in 'Stijl in de wetenschap' en 'De universiteit zestig jaar geleden'. Ehrenfest was de ideale docent, een Socrates die het stellen van vragen stimuleerde en daarmee het zelfdenkend vermogen van zijn studenten ontwikkelde. Hij zorgde er-

voor dat alle groten der aarde naar Leiden kwamen, er een colloquium hielden en met de studenten discussieerden. Hij nam zijn studenten mee naar de grote internationale conferenties en 'stalde' ze als promovendus of postdoc bij zijn collegae in het buitenland, voordat ze in aanmerking konden komen voor een meer permanente aanstelling aan de Leidse universiteit. Uit deze periode stammen alle prachtige anekdotes en verhalen over de grote fysici van deze eeuw waarvan de invloed op onze moderne samenleving veel groter was dan zij zelf bevroedden, maar waarvan Casimir vond dat zij een vooraanstaande plaats verdienden in onze cultuur. Veel kwantummechanica of relativiteitstheorie valt er niet te leren van zijn beroemde *Het toeval van de werkelijkheid*, het boek gaat over excellente onderzoekers die hun werk doen, belangwekkend werk en met grote toewijding en overgave, met kameraadschappelijkheid en trots. Onvergetelijk mensenwerk waarvan wij getuigen worden dankzij Casimirs prachtige pennenstreken.

Door ook in *De Gids* zijn verhaal te doen bracht hij twee culturen met elkaar in contact, een effect dat in zijn ogen noodzakelijk was voor de verdere ontwikkeling van beide. Daarom deed hij graag mee aan themanummers, en altijd met een heel eigen inbreng: 'Men denkt wat men formuleren kan en formuleren doet men het beste in zijn moedertaal' (over Duits als taal der wetenschap), en 'Alle begin is moeilijk' (over openingszinnen in proza en poëzie en in de wetenschappelijke literatuur), en vijf maal vijf, over het cijfer vijf in de muziek, in de bloementuin en in de wiskunde (een ode aan Harry Mulisch), en 'Ik studeer en beoefen een vak dat de synthese is van vele aspecten van onze cultuur' (over Vitruvius en de opleiding van architecten). Het totale oeuvre van Casimir in *De Gids* beslaat slechts vierenvijftig pagina's maar ook daarover had hij ons iets te zeggen: 'In de interessante, niet erg bekende utopie van Robert Graves, *Seven days in New Crete*, krijgen aankomende dichters tien zilveren en

een gouden plaat uitgereikt waarin ze hun gedichten mogen graveren, en de dichters die hun platen niet opmaken staan in hoog aanzien.' Inderdaad, Casimir staat bij ons in hoog aanzien.

Toch heeft de archeoloog die een dissertatie wil schrijven over cultuur van onze tijd aan het bundeltje Casimir in *De Gids* niet genoeg, de gouden plaat ontbreekt. De ontwikkeling van het bedrijfsleven in de twintigste eeuw. Ook daarover had Casimir belangwekkende verhalen kunnen publiceren, maar hij heeft dat geweigerd. Als directeur van het Philips Natuurkundig Laboratorium heeft hij dit gemaakt tot een van de beste, zoniet het allerbeste, researchcentrum van Europa. Als lid van de raad van bestuur is hij medeverantwoordelijk geweest voor de ontwikkeling van Philips tot een van de machtigste multinationale ondernemingen ter wereld op het gebied van de moderne technologie. In tegenstelling tot wat tegenwoordig nogal in de mode is, heeft Casimir over zijn ervaringen bij Philips niet willen publiceren. Hij heeft zijn prachtige pen daarvoor niet willen lenen. 'Wie een leidende functie heeft bekleed mag nooit kritisch of spottend schrijven over zijn collega's en zeker niet over zijn ondergeschikten.' Hij heeft hun vertrouwen niet willen beschamen, hoewel hij toch sterk in de verleiding kwam: 'Ja, er zou veel te vertellen zijn. In een grote en goed georganiseerde zaak als Philips kom je veel belachelijke situaties tegen en krijg je te maken met allerlei excentrieke figuren... Een wat spottende geschiedschrijving zou ook nog kunnen helpen het waandenkbeeld te bestrijden dat een grote zaak met koele en nauwkeurige berekening afstuurt op een doel: de maximalisatie van de winst.' Maar helaas, voorlopig zullen wij het moeten doen met: 'Tolstojs ideeën over oorlogvoering kunnen volgens mij even goed, of zelfs nog beter, worden toegepast op het gedrag van een grote firma.' Meer heeft Casimir niet willen publiceren, maar misschien heeft hij zijn wat spottende geschiedschrijving bewaard voor later en is het aan de archeoloog om hem te vinden. Zo'n vondst zou wel effect hebben.

Naïef

Eminente geleerden zijn soms in politiek opzicht naïef. Anderen zijn realist of weten zelfs op politiek terrein gewiekst te manoeuvreren. Bohr en Kramers waren naïef, Sacharov en Teller gewiekst. Nu de Koude Oorlog ten einde is lijkt mij de vraag interessant: welk gedrag van atoomgeleerden vinden wij maatschappelijk verantwoord?

Uit het sensationele verhaal over 'De zaak Kr.', in *NRC Handelsblad* van zaterdag 2 mei 1992, blijkt dat de Nederlandse, Britse en Amerikaanse geheime diensten prof. Kramers ervan verdachten een atoomspion van internationale allure te zijn. Gelukkig was hem dit niet bekend toen hij in 1952 overleed als een van de meest prominente geleerden van zijn generatie. Het is onvoorstelbaar dat Kramers een spion voor de Sovjet Unie zou zijn geweest, maar in die tijd was het al verdacht om met Jan Romein bevriend te zijn en, in het kader van de internationale broederschap van onderzoekers, contacten met Oost-Europeanen te onderhouden. De BVD voelde zich kennelijk geroepen om het Westen te beschermen tegen de naïviteit van Kramers, terwijl hij meende de wereldvrede te bevorderen door openheid te betrachten toen in feite het IJzeren Gordijn al was neergelaten en de Koude Oorlog was uitgebroken.

In 1946 werd Kramers gekozen tot voorzitter van het wetenschappelijk stuurcomité van de eerste atoomenergiecommissie der Verenigde Naties. Hoewel de tegenstellingen in het comité soms hoog opliepen is het Kramers gelukt een rapport op te stel-

len dat met algemene stemmen werd aangenomen. De belangrijkste conclusie luidde: Effectieve controle over atoomenergie is technisch mogelijk. Hiermee hoopte Kramers te bereiken dat de kennis op het gebied van kernenergie en kernwapens, die tijdens de oorlog vooral in Amerika was opgebouwd, in alle openheid en volgens goed wetenschappelijke traditie verder ontwikkeld zou worden voor vreedzame toepassingen en het welzijn van de gehele mensheid.

Volledige openheid over wetenschappelijk onderzoek behoorde voor Kramers tot de ethiek van de wetenschappelijke onderzoeker. Het moet voor hem een gruwel zijn geweest om van nabij mee te maken hoe de politici zijn idealen om zeep hielpen, eerst in de atoomenergiecommissie en daarna in de Veiligheidsraad van de Verenigde Naties. In 1947 keerde Kramers onverrichter zake terug naar Nederland, waar hem een koninklijke onderscheiding wachtte als troost.

Min of meer hetzelfde overkwam Niels Bohr. Al tijdens de oorlog, toen hij naar Engeland gevlucht was, daarna naar Amerika ging en kennismaakte met de ontwikkeling van kernwapens, spande hij zich in om een wapenwedloop te voorkomen. Daartoe bepleitte Bohr openheid over kernenergie en kernwapens te verschaffen aan alle partijen, inclusief de Sovjet-Unie. Met deze boodschap reisde hij langs hooggeplaatste diplomaten en politici in Engeland en Amerika. In zijn biografie over Bohr noemt Pais (zie: 'Vader van het atoom op blz. 54) hem een 'pionier van glasnost', maar Churchill en Roosevelt vonden hem naïef of begrepen hem niet. Op 6 en 9 augustus 1945 werden Hiroshima en Nagasaki door uranium- en plutoniumbommen verwoest en op 11 augustus publiceerde *The Times* een artikel 'Science and civilization' van Niels Bohr. Hij gaf het niet op en bleef pleiten voor openheid. De ontwikkeling van kernenergie en kernwapens moest onder internationale controle komen. Dit was naïef, want de Koude Oorlog had de Amerikaans-Russische

relatie al vergiftigd. De politieke hysterie vergrootte de oostwesttegenstellingen en Niels Bohr werd ervan verdacht in zijn naïviteit gevoelige informatie door te zullen geven aan zijn Russische collegae.

'Natuurlijk besefte ik met wat voor verschrikkelijke, onmenselijke dingen we bezig waren,' schrijft Sacharov in *Mijn Leven*. 'Maar de recente oorlog was ook een oefening in barbaarsheid geweest; hoewel ik in dat conflict niet gevochten had, zag ik mezelf als een soldaat in deze nieuwe, wetenschappelijke oorlog.' Hier spreekt een fysicus over de ontwikkeling van kernwapens vanuit een heel ander perspectief dan Kramers en Bohr. Sacharov maakte voor Stalin de waterstofbom net als Teller dat deed voor Eisenhower.

Beiden rechtvaardigden dit door erop te wijzen dat de kernwapens de grote mogendheden in evenwicht hielden, waardoor een derde wereldoorlog voorkomen werd. Daaraan voegt Sacharov nog toe: 'Aanvankelijk was onze ijver echter meer emotioneel dan intellectueel gekleurd. De reusachtige vernietigingskracht, de enorme inspanningen die ons werk vergde en de prijs die ons arme, hongerige en door de oorlog verwoeste land ervoor moest betalen, de slachtoffers als gevolg van onvoldoende veiligheidsmaatregelen en het gebruik van dwangarbeid bij de winning en verwerking van grondstoffen, dit alles versterkte voor ons de dramatiek van het werk en bracht ons ertoe een topinspanning te leveren, opdat de offers – die wij onvermijdelijk achtten – niet tevergeefs zouden zijn. Wij waren door een ware oorlogspsychose bevangen.'

Sacharov begrijpt ook het gedrag van zijn tegenspeler, Edward Teller, in dit lugubere spel met de wereldvrede en als een goed veldheer neemt hij hem in bescherming tegen 'onfatsoenlijke' verwijten van vakgenoten: 'Teller had aan den lijve de communistische revolutie van 1919 in zijn geboorteland Hongarije ondervonden, en hij koesterde een diepgeworteld wantrouwen tegen het socialistische systeem. Hij hamerde erop dat alleen

Amerika's militaire kracht het socialistische kamp kon weerhouden van een expansie die de beschaving en de democratie zou bedreigen.' In de ogen van velen heeft zowel Sacharov als Teller tijdens de ontwikkeling van de waterstofbom de heersende ethiek van de wetenschap aan zijn laars gelapt. Zij hebben de natuurkunde opgezadeld met het dr. Strangelove-syndroom, een 'schuldgevoel over een krankzinnige wapenwedloop.

Vinden wij thans dat Sacharov en Teller maatschappelijk onverantwoord gehandeld hebben? Ik denk het niet. De Koude Oorlog is over, zonder een grote wereldbrand. Alle kernwapens zijn nog lang niet de wereld uit, desalniettemin is het zover gekomen dat kernwapens die nog nooit gebruikt zijn ontmanteld worden. Dit is in de eerste plaats te danken aan de politici, maar zij zijn daartoe in zekere zin in staat gesteld door de gewiekste manoeuvres van de atoomgeleerden Sacharov en Teller, niet door de naïviteit van Kramers en Bohr. Toch gaat onze sympathie uit naar de laatsten. Zijn wij dan toch maar liever naïef?

Wat is leven?

De levende natuur wordt meestal niet gerekend tot het domein van de natuurkundige. Daar hebben wij het zelf naar gemaakt. Ik wil dit illustreren door hier twee boeken met elkaar te vergelijken: *What is life?* geschreven door Erwin Schrödinger in 1944(!) en *Schrödinger, life and thought* geschreven door Walter Moore in 1989 (beide zijn uitgegeven door Cambridge University Press, het tweede in 1992 als paperback). In het ene boek geeft Schrödinger de beperkte visie van een fysicus op wat leven nu eigenlijk is. In het andere boek kan men lezen dat deze natuurkundige toch alle facetten van het leven heeft gekend.

Geïnspireerd door een mysterieuze vriendin uit Wenen, met wie hij op kerstvakantie was in Arosa, heeft Erwin Schrödinger in 1925 de golfvergelijking opgesteld waarmee de kwantumtoestanden in het waterstofatoom berekend konden worden. In vier opeenvolgende publicaties, allevier verschenen in de eerste helft van 1926, breidde hij zijn werk uit tot twee-atomige moleculen, het effect van elektrische velden op het spectrum van atomen en de emissie en absorptie van straling door atomen en moleculen. Thans is de 'Schrödingervergelijking' de basis van de kwantummechanica.

Hoewel zeer begaafd in de wiskunde en ook een goed docent, was Schrödinger geen wonderkind en misschien zelfs geen genie. Zijn grote ontdekking deed hij in zijn veertigste levensjaar. Tot zijn dood, in 1961, weigerde hij de interpretatie van de kwan-

tummechanica volgens Bohr te accepteren, maar een alternatief kon hij niet bedenken. Ook probeerde hij een theorie te formuleren waarin zwaartekracht en elektromagnetisme onder één noemer worden gebracht. Tegenover de pers beweerde hij zo'n Theorie Van Alles reeds ontdekt te hebben, maar Einstein bestreed dit en zette hem in het openbaar op zijn nummer.

In de winter van 1943 probeerde Schrödinger een nog hoger doel te bereiken en werkte aan een serie lezingen: 'What is life?'. Een uitdagende titel die garant stond voor volle zalen, zeker ook omdat hij als Nobelprijswinnaar een beroemdheid was geworden. Schrödinger stelde de vraag aan de orde hoe de verschijnselen in ruimte en tijd, die in een levend organisme plaatsvinden, in overeenstemming te brengen zijn met de inzichten van de moderne fysica en chemie. Zijn antwoord luidde: hoewel het duidelijk is dat leven nog niet op fysische en chemische gronden verklaard kan worden, is er geen enkele reden om eraan te twijfelen dat dit in principe toch mogelijk is.

Schrödinger reduceerde levensvragen tot twee natuurkundige problemen. De eerste vraag die hij aan de orde stelde betrof de erfelijkheid, geen onbelangrijke kwestie ten tijde van de rassenwaan in Europa. Het grote probleem, volgens Schrödinger, was dat de erfelijkheid ligt opgeborgen in een molecule bestaande uit niet eens zo'n groot aantal atomen. Statistische fluctuaties zouden aanleiding moeten geven tot het voortdurend veranderen van erfelijke eigenschappen. Echter de kwantummechanica heeft volgens Schrödinger geleerd dat de chemische binding gekwantiseerd is zodat mutaties slechts sprongsgewijze kunnen optreden als daarvoor voldoende energie geleverd wordt, bijvoorbeeld in de vorm van radioactieve straling. Anders blijft het molecule dat de erfelijkheid draagt stabiel.

Schrödingers tweede brandende kwestie betrof de entropie: hoe kunnen levende organismen geordend blijven en niet steeds wanordelijker worden? De entropiewet uit de thermodynamica,

die zegt dat de wanorde van een systeem zal toenemen, leek tijdens de Tweede Wereldoorlog zelfs op te gaan voor de politiek, waarom dan niet voor levende materie? Schrödinger gaf als antwoord dat orde uit orde ontstaat, een levend organisme voedt zich met gestructureerde materie en bouwt daarmee verder. Voor het ontstaan van orde uit wanorde verwees hij naar Gods eigen kwantummechanica. Aldus de zeer beperkte 'levensvisies' van deze fysicus.

Het is haast niet te geloven maar biologen en biochemici van naam, zoals Crick, Watson en Wilkins, zeggen dat Schrödingers boekje van revolutionaire betekenis is geweest voor hun werk. Als dat zo is dan heeft Schrödinger er kennelijk toe bijgedragen dat sommige biologen de kennis van het leven reduceren tot de genen plus enkele eenvoudige wetmatigheden. Hoewel het noodzakelijk is dat de biologie consistent is met de fysica, is dat lang niet voldoende.

Er gaapt bij Schrödinger een geweldige kloof tussen theorie en praktijk, tussen wat hij van leven vindt als hij erover filosofeert en de wijze waarop hij zelf geleefd heeft. Uit zijn dagboeken blijkt wat hij met zijn leven deed. Zijn favoriete sporten waren wandelen in de bergen, skiën en zwemmen. Hij genoot van zijn studententijd in Wenen maar keek neer op zijn collegae toen hij daar na zijn afstuderen als docent benoemd werd. Daarom verliet hij Oostenrijk en maakte carrière – via Jena, Stuttgart, Breslau en Zürich – in Berlijn als opvolger van Max Planck. Hij overleefde twee wereldoorlogen, de eerste als soldaat aan het front, de tweede als vluchteling in het buitenland. Erwin Schrödinger was geen jood, maar ging toch in 1933 op de vlucht voor de nazi's naar Oxford. In 1936 keerde hij terug naar Graz, waar hij de Duitsers in een open brief bedankte voor de bevrijding van Oostenrijk. Toch werd hem zijn vlucht uit Berlijn kwalijk genomen en viel hij in ongenade bij de autoriteiten, daarom vluchtte hij, via Rome, opnieuw naar Oxford, maar na zijn openlijke adhe-

siebetuiging aan de Führer was hij daar niet meer welkom en ging hij naar Gent om tenslotte in Dublin te belanden, waar hij van 1939 tot 1956 de leiding had over het Institute of Advanced Studies. Pas na het vertrek van de communisten in 1956 keerde hij terug in zijn geboorteland Oostenrijk.

Hij was veertig jaar getrouwd met Annemarie, maar bleef zijn hele leven op vrouwen jagen en hield de namen van zijn prooien nauwkeurig bij in zijn dagboek: Ella, Felicie, Lotte, Irene, Erika, Ithi, Barbara, Lucie, Hansi. Het huwelijk bleef kinderloos maar hij verwekte drie dochters bij Hilde, Sheila en Kate. Hij had een antipathie tegen alles wat christelijk was; toch werd hij wegens grote eruditie en onberispelijk gedrag door Pius XI benoemd tot lid van de Pauselijke Academie voor Wetenschappen, samen met Bohr, Debye, Keesom, Millikan, Planck, Rutherford en Zeeman. Hij geloofde in Vedanta en Upanishads en las alles wat Schopenhauer geschreven heeft over oosterse filosofie.

Hij maakte zich continu zorgen om geld. Niet dat hij zo weinig verdiende, maar hij was bang dat hij zijn vrouw achter zou moeten laten zonder een behoorlijk weduwepensioen. Hoewel het aanbod van Princeton ($10.000) hoger was dan wat hij in Oxford verdiende, was het lager dan Einstein in Princeton kreeg ($15.000) en zou het weduwepensioen voor Anny niet genoeg zijn ($2000). Hij had zijn Nobelprijs veilig op de bank staan in Zweden en hoorde daardoor tot de welgestelden; toch was hij voortdurend bang door inflatie aan de bedelstaf te zullen raken. Terwijl zijn collegae nachtclubs en bars frequenteerden, vooral Debye en Scherrer in Zürich worden in dit verband genoemd, gaf Schrödinger de voorkeur aan het theater. Hij hield niet alleen nauwgezet een dagboek bij, maar schreef ook vele gedichten over zijn emoties, vooral aan zijn geliefden. Hij was daar trots op en publiceerde een dichtbundel, ook al schreef Stefan Zweig dat hij hoopte dat Schrödingers fysica beter was dan zijn poëzie.

Wie wil weten wat leven is, kan ook bij de fysicus te raden

gaan. Men moet dan wel zijn dagboeken lezen en niet zijn reductionistische filosofieën.

Vader van het atoom

De belangrijkste theorieën in de natuurkunde begrijp ik niet. Op de universiteit heb ik Maxwelltheorie gehad en geleerd hoe je het magneetveld kunt uitrekenen dat hoort bij een elektrische stroom, maar waarom noord- en zuidpool elkaar aantrekken, of wat een magnetische monopool is, dat begrijp ik nog steeds niet. Ik heb relativiteitstheorie gedaan en ben indertijd geslaagd voor het tentamen, maar waarom twee atoomklokken ongelijk gaan lopen als men er één met een raket mee stuurt, dat begrijp ik nog steeds niet. Ik kan zelfs niet onthouden welk van de twee klokken achter gaat lopen. Het is die klok in de raket, geloof ik, maar om het zeker te weten zou ik het moeten uitrekenen. Dat is toch een beetje vreemd voor een fysicus, daarom koop ik boeken als *Subtle is the Lord*, de biografie van Einstein geschreven door onze landgenoot Abraham Pais. Het begin van dit boek is uitermate fascinerend, ondanks enkele pedanterieën over privé-wandelingetjes van Pais met Einstein. De fysica van het eind van de negentiende en het begin van de twintigste eeuw wordt meesterlijk beschreven. Voor mij was Einsteins werk en $E=mc^2$ uit de lucht komen vallen. Nu blijkt dat Einstein worstelde, net als zijn tijdgenoten, met de ethertheorie. Al worstelend komt de relativiteitstheorie naar boven. Ether verdwijnt naar de achtergrond zonder dat hij netjes wordt afgedaan. Einsteins eerdere werk, vooral dat in de statistische fysica, was me onbekend en zijn onderzoek aan het getal van Avogadro is buitengewoon interessant. Wat daarna

komt, het eigenlijke onderwerp van het boek, is voor mij onbegrijpelijk gebleven. Te veel formules, te veel impliciete beweringen en conclusies. Pais is een typische theoreticus die mathematisch kan denken en associëren, voor wie de schoonheid der wiskunde in een oogopslag duidelijk is. Ik lees door een berg formules heen, soms pagina's overslaand waar 'niets' in staat. Toch lees ik door, want de passages over de persoon van Einstein en zijn collegae boeien. En ik hoop toch iets meer te leren over het wezen van de relativiteitstheorie. Dit lukt niet. Het is een troost dat ik niet alleen ben, hetgeen ook uit het boek van Pais blijkt. De *London Times* van 7 november 1919 schrijft over een bijeenkomst van de Royal Society naar aanleiding van de experimentele bevestiging van Einsteins voorspelling: 'No speaker succeeded in giving a clear non-mathematical statement of the theoretical question.' Uitgebreid wordt aandacht besteed aan de grote aantrekkingskracht van het werk van Einstein, niet alleen op zijn collegae maar ook op het grote publiek, dat er niets van begrijpt maar zich toch verdringt om de laatste 'paper' te lezen.

Ik voel een zekere boosheid opkomen en een verwijt aan Pais dat de relativiteitstheorie niet echt wordt uitgelegd. Dan ineens staat daar een uitspraak van Hertz: 'Maxwells theorie is Maxwells systeem van vergelijkingen.' Pais noemt deze uitspraak geestig, maar een zinloos commentaar op het beste dat de fysica van die tijd heeft voortgebracht. Voor mij is deze uitspraak juist van grote betekenis omdat ik steeds meer het gevoel krijg dat de 'grote' fysica niet meer is dan een stel mathematische vergelijkingen waarmee experimentele resultaten voorspeld kunnen worden, maar waarvan ons de diepere betekenis ontgaat. Dit geldt niet alleen voor de vergelijkingen van Maxwell, ook voor de relativiteitstheorie van Albert Einstein en evenzeer voor de kwantummechanica van Niels Bohr.

Om te zien of Abraham Pais het hier inmiddels mee eens is, ben ik gretig begonnen aan zijn nieuwste biografie: *Niels Bohr's*

Times in physics, philosophy and polity (eveneens uitgegeven bij Oxford University Press). Niels Bohrs filosofie wordt al in het eerste hoofdstuk door Pais samengevat. 'Kwantummechanica maakt de vraag zinloos: bestaat licht of materie uit deeltjes of uit golven? In plaats daarvan moet de vraag luiden: gedraagt licht of materie zich als deeltjes of als golven? Deze vraag kan alleen beantwoord worden, indien men de experimentele condities specificeert waaronder de waarnemingen worden gedaan.' Of met Bohrs eigen woorden: 'Onze taak is niet om in het wezen der dingen door te dringen, waarvan wij de betekenis toch niet kennen, maar om concepten te ontwikkelen waarmee wij productief kunnen spreken over verschijnselen in de natuur.' Daarna volgt een tekst die al even fascinerend is als de biografie van Einstein, misschien wel fascinerender, want als geen ander combineerde Niels Bohr drie eigenschappen. Hij was een schepper van wetenschap, hij maakte school, en hij was pleitbezorger voor de wetenschap bij het grote publiek en in de politiek.

Het beeld dat wij allen hebben van het atoom, een kern waar elektronen in vaste banen omheen cirkelen, danken wij aan Niels Bohr die hiermee de Nobelprijs verdiende. Toch is dit beeld vreemd want als men een elektron in een vaste baan in een deeltjesversneller laat rondcirkelen dan straalt het licht uit en zal het steeds langzamer gaan draaien omdat het energie kwijtraakt en dus moeten wij het elektron blijven versnellen om het in een vaste baan te houden. Atomen bezitten geen kleine deeltjesversnellers, toch bevinden de elektronen zich daar in stabiele banen. Dit is alleen te verklaren door aan te nemen dat in het atoom de elektronen zich als golven gedragen, maar dat is toch vreemd? Inderdaad, dat is het vreemde aan de kwantummechanica.

Deze vreemde ontdekking van Bohr had een geweldige aantrekkingskracht op zijn tijdgenoten. Het instituut in Kopenhagen dat naar hem vernoemd werd en het kasteel dat hij van de

Carlsberg Stichting kreeg aangeboden als woning werden het centrum van de moderne natuurkunde. Tussen 1916 en 1961 verbleven hier maar liefst vierhonderdvierenveertig geleerden uit vijfendertig landen. Gezamenlijk publiceerden zij twaalfhonderd wetenschappelijke artikelen, waaronder tweehonderd van of met Bohr. Hij bepaalde de sfeer in zijn omgeving. Als geen ander ging hij tot de bodem van alles. Hij bezat de energie om tot het eind toe vol te houden. Bovendien kon hij genieten van het leven als geheel. Dit maakte hem tot de vader van de atoomfysica en als een vader ging hij om met zijn leerlingen. Maar als een vader kon hij ook zijn omgeving tot wanhoop brengen, zoals Slater (I had a horrible time in Copenhagen) of Heisenberg (in tears because I could not stand this pressure from Bohr) en Mott (I wish Bohr would let me get on with it without examining everything). Voor de meeste bezoekers was Kopenhagen echter een keerpunt in hun leven, een legendarische tijd, ook voor Abraham Pais die met kennelijk genoegen de vele anekdotes uit zijn herinnering opdiept of uit de archieven tevoorschijn haalt en eloquent beschrijft. Soms koket, met woorden als: polity, unbeknownst, bequeathed, largesse, ventripotence, cognoscenti, opine. Daar staat tegenover dat in dit boek, geheel in stijl met Niels Bohr zelf (we are suspended in language), vrijwel geen formules staan. Niels Bohr werd steeds beroemder. Hij verkeerde met regeringsleiders en staatshoofden, eerst in eigen land maar na de oorlog over de gehele wereld. Zo kon hij in Denemarken fondsen verwerven voor de natuurkunde en verscheidene instituten oprichten. Tijdens de oorlog mobiliseerde hij zijn hele instituut en maakte in een week tijd zesduizend neuskatheters, die nodig zouden zijn in geval van een aanval op Denemarken met gifgas. Daarna moest Bohr (hij was halfjoods) vluchten, via Zweden naar Engeland en de VS, waar hij adviseur werd van het kernwapenproject. Na de oorlog werd Niels Bohr een pleitbezorger voor volledige openheid op het gebied van kernenergie

en kernbommen om de Koude Oorlog te voorkomen. Maar de heren politici vonden hem naïef of begrepen hem niet. Churchill 'would always be honored to receive a letter from Professor Bohr but hoped it would not be about politics'. Eisenhower liet hem op 24 oktober 1957 de eerste Atoms for Peace Award overhandigen, maar op 1 november ontplofte de eerste waterstofbom in de Stille Oceaan.

Als politicus en strateeg in de wetenschap had Niels Bohr dus het meest succes. Toch was ook deze overwinning 'bittersweet' of zoals Hendrik Kramers, Bohrs naaste medewerker in die tijd, het eens gezegd heeft: 'De kwantumtheorie is als elke overwinning, je lacht de eerste maanden en daarna huil je nog jaren.' Bohr bracht weliswaar een wonderlijke synthese tot stand tussen atoomspectroscopie en chemie, maar de wijze waarop en de consequenties ervan betekenden een ware revolutie in de exacte wetenschappen. Het principe van oorzaak en gevolg ging verloren. Deze prijs moest betaald worden voor de kwantummechanica die ons helpt waar de klassieke fysica het af laat weten. De kwantummechanica vertelt ons van radioactieve atomen: dat vandaag een atoom zal vervallen, morgen een ander en overmorgen weer een ander, maar welk atoom het zal zijn, dat zal geen berekening kunnen voorspellen, want de kwantumtheorie berekent alleen een kans. Abraham Pais beschrijft in detail de rol van alle spelers bij het ontstaan van dit nieuwe kansspel. Planck, Pauli, Einstein, Sommerfeld, Schrödinger, Heisenberg, Born, de Broglie, zij allen droegen een steentje bij maar het was vooral Bohr die als architect/aannemer optrad en de fundamenten in de gaten hield. Vandaar dat wij thans spreken van de Kopenhagen-interpretatie van de kwantummechanica. Dit is een pragmatische interpretatie: de enige reden dat de kwantumtheorie standhoudt, is dat zij de juiste voorspellingen doet van onze experimenten. Dit betekent niet dat er een kwantumwereld is. Er is alleen een abstracte mathematische beschrijving. De kwantum-

theorie, dat is de golfvergelijking. Waarom? Omdat die werkt. Veel fysici, inclusief Pais, zijn daar ongelukkig over. Bohr had er vrede mee, want zijn voorganger op het kasteel van de Carlsberg Stichting was de pragmatische filosoof Höffding. Bovendien zal Bohr Steno gelezen hebben, de Deense geleerde uit de zeventiende eeuw, die schreef (vert. Pais): 'Beautiful are the things we see / More beautiful those we understand / Much the most beautiful those we do not comprehend.'

Had Niels Bohr het zelf bedacht?

'The task of science is both to extend the range of our experience and reduce it to order.'

In het laatste interview met Niels Bohr op 17 november 1962, de dag voor zijn overlijden, vraagt Thomas S. Kuhn: 'When was this that you read William James?' Bohr antwoordt: 'That may be a little later, I don't know. I got so much to do, and it may be at the time I was working with surface tension, or it may be just a little later. I don't know.' Kuhn: 'But it would be before Manchester?'[2] Voor Kuhn is het de moeite waard om hiernaar te informeren, want er is discussie over de vraag of Bohr in zijn werk als fysicus beïnvloed werd door filosofen. Op deze suggestie, die ook vandaag nog actueel is,[3] wordt in Denemarken en in de internationale fysische gemeenschap met verontwaardiging gereageerd. Als wetenschapshistoricus en socioloog is Kuhn geïnteresseerd in de controverse tussen degenen die de ontwikkeling van de wetenschap als volledig autonoom zien, louter gestuurd door de ontdekkers en ontdekkingen binnen een bepaalde wetenschap, en degenen voor wie dit standpunt veel te beperkt is. Wetenschap ontwikkelt zich, zeggen zij, niet alleen door ontdekkingen binnen een bepaald vakgebied maar ook onder invloed van wat er elders gebeurt, zelfs sociologische en culturele factoren buiten de wetenschap spelen een rol.

Ontdekkingen in het begin van deze eeuw maakten aan de klassieke natuurkunde van voor 1900 radicaal een eind en

brachten de gemeenschap van fysici danig in beroering. Het is Niels Bohrs grootste verdienste dat hij zijn collegae, die door de kwantummechanica en de relativiteitstheorie zozeer in verwarring waren, de weg wees. Daarom spreekt men vandaag van de 'Kopenhagen interpretatie' van de kwantummechanica. Verscheidene auteurs hebben echter opgemerkt dat deze interpretatie een pragmatische is en toegeschreven moet worden aan invloeden van filosofen als Kierkegaard, James of Höffding op Niels Bohr. Vooral de Denen, maar ook veel fysici buiten Denemarken, wijzen deze suggesties als mythen van de hand. Alsof hun natuurkunde de filosofie niet nodig heeft en hun held er minder van wordt als blijkt dat hij door anderen beïnvloed is.

Een elektronenkanon wordt gericht op een scherm waarin zich twee nauwe spleten bevinden vlak naast elkaar. Achter het scherm verwachten we alleen elektronen te detecteren op de twee plaatsen waar we door de spleten het elektronenkanon kunnen zien. Dat is niet wat we meten. Een elektronendetector registreert ook signaal waar hij ogenschijnlijk wordt afgeschermd van het kanon. Als we de detector achter het scherm heen en weer bewegen, zal het elektronensignaal fluctueren. Op sommige plaatsen worden veel elektronen gedetecteerd, vlak daarnaast bijna geen, dan weer veel en dan weer weinig, etc. Zolang we volhouden dat elektronen deeltjes zijn die door het elektronenkanon naar de detector worden geschoten, kunnen we de metingen niet verklaren. Je kan met een elektronenkanon alleen die plekken achter het scherm raken waar je het kanon kan zien, immers je kan met een kanon niet om een hoekje schieten.

Volgens de kwantummechanica kan dat wel. De kwantummechanica beschrijft elektronen als golven. Een golf die het scherm nadert en bij de twee spleten aankomt zal zich splitsen. Achter

de spleten komen de twee golven weer samen. Zij kunnen elkaar dan versterken of juist uitdoven, afhankelijk van de plaats waar ze elkaar ontmoeten en in welke fase ze dan zijn. Als beide golven net omhoog bewegen krijgen we een extra hoge golf, dus extra veel signaal van elektronen. Op een plek waar de ene golf omhoog en de andere juist naar beneden gaat, werken ze elkaar tegen en krijgen we uitdoving, dus weinig of geen signaal. Inderdaad ontstaat achter het scherm een interferentiepatroon in onze elektronendetector, alsof elektronen golven zijn. Maar de elektronen schieten een voor een uit het kanon als deeltjes en worden ook als deeltjes een voor een gedetecteerd. Het interferentiepatroon kunnen we pas waarnemen als we het signaal van al die elektronen bij elkaar optellen. Met de kwantummechanica kunnen we het patroon van tevoren berekenen en daarmee voorspellen wat de kans is dat we een elektron op een bepaalde plaats achter het scherm detecteren. Maar voor ieder individueel elektron dat het kanon verlaat, kunnen we niet voorspellen waar het precies achter het scherm terecht zal komen. Terwijl we voor een kogel uit een kanon wel de baan precies kunnen berekenen.

Het is nog vreemder, want het elektron is ondeelbaar en kan zich niet in tweeën splitsen als een golf. Het elektron kan niet beide spleten in het scherm tegelijkertijd passeren, het gaat slechts door een van de twee. Als we echter proberen te bepalen door welke spleet een elektron gaat, bijvoorbeeld door een van de twee te sluiten, dan verdwijnt het interferentiepatroon in de detector. Hoe 'weet' het elektron als het door een van de twee spleten in het scherm gaat, of de andere open of dicht staat?

Wat is het elektron nu werkelijk, een golf of een deeltje? Dit is een van de problemen uit de kwantummechanica die de fysische gemeenschap in verwarring bracht over de fysische werkelijkheid. Er zijn er meer, zoals de onzekerheidsrelatie die zegt dat we van een deeltje nooit met zekerheid zowel de snelheid als de

plaats kunnen weten. En puur toeval dat een belangrijke rol blijkt te spelen in de natuurkunde, zoals bij het uitzenden van straling door een radioactief atoom. Deze ontdekkingen dwongen de fysici te breken met de klassieke natuurkunde. Hoe radicaal de breuk is, blijkt als we God erbij halen, zoals Max Planck en andere fysici in vertwijfeling deden om hun wereldbeeld toch nog enigszins in stand te houden.

Max Planck, de vader van de kwantummechanica, was religieus en kon zich niet voorstellen dat de onzekerheidsrelatie ook zou gelden voor de Almachtige. Als Planck gelijk had zouden er twee soorten natuurkunde zijn, een met en een zonder onzekerheidsrelatie, want in de ons bekende natuur geldt de relatie zeker.

Er zijn fysici als Planck die beweren dat vanuit het oogpunt van God het elektron een deeltje is en geen golf. God zou wel kunnen zien door welke spleet in het scherm het elektron naar de detector vliegt. God zou het elektron onderweg kunnen zien bewegen zonder die beweging te beïnvloeden. Maar dit is metafysica, want een dergelijke hypothetische waarneming door God voldoet niet aan de wetten die de menselijke waarneming beheersen.

Dit probleem geldt trouwens niet alleen voor de kwantummechanica maar ook voor die andere opzienbarende ontdekking uit het begin van de twintigste eeuw, de relativiteitstheorie. Die leert dat er geen absolute lengte is maar dat de lengte van een voorwerp afhankelijk is van de wijze waarop wij meten. Een stok zal een andere lengte hebben als wij deze meten met een bewegende of met een stilstaande meetlat. Stilstaan en bewegen zijn altijd relatief ten opzichte van de omgeving. Als wij denken stil te staan met onze meetlat, dan bewegen wij samen met die meetlat ten opzichte van een andere planeet. Van daaruit zal onze meetlat een andere lengte hebben. Nu zijn er mensen die denken dat in de ogen van God de stok wel een absolute lengte heeft.

Maar als wij van hem die lengte zouden willen vernemen, moet God een lengtemaat gebruiken die wij kennen. Voor ons geldt echter de relativiteitstheorie waarin alle lengtematen relatief zijn. Ook al heeft de stok in de ogen van God een absolute lengte, dan nog kunnen wij daarvan geen weet hebben.

De fysici van de negentiende eeuw dachten dat hun vak bijna klaar was. In 1820 schreef Pierre Simon de Laplace over een intelligent wezen met oneindige mathematische gaven, die op een bepaald moment de positie en de beweging van alle deeltjes in het universum leert kennen. Zo'n wezen zou met deze gegevens en de wetten van de klassieke mechanica de toekomst van het heelal tot in detail en op willekeurige momenten kunnen berekenen. Gelukkig is dat godsonmogelijk anders was het door de supercomputers binnenkort met ons vak gedaan. Zo'n superwezen kan alleen alle informatie over alle deeltjes in het universum verkrijgen als het zelf ook op een of andere manier daarvan deel uitmaakt. In dat geval zal het superwezen niet de toekomst van zijn eigen toestand kunnen voorspellen en dus niet van het complete heelal. Als het superwezen geen deel uitmaakt van het universum, hoe kan het dan al die informatie over het heelal verkrijgen en aan ons zijn voorspellingen meedelen? De visie van de Laplace is dus niet vol te houden. Fysici past een bescheidener rol in het universum, maar welke rol en wat leert de kwantummechanica hierover?

'The task of science is both to extend the range of our experience and reduce it to order.' Dit is de openingszin van Bohrs boek *Atomic Theory and the Description of Nature* (1934).[4] Hoewel hij zulke complexe zinnen schrijft dat het bijna onleesbaar wordt, is Bohrs interpretatie van de kwantummechanica heel eenvoudig. Wie zich afvraagt wat het elektron nu eigenlijk is, een golf of een deeltje, krijgt van Bohr het pragmatische antwoord dat het ons niet gegeven is erachter te komen. Het is ons niet gegeven de na-

tuur te beschrijven zoals zij werkelijk is, want wij maken er zelf deel van uit. Wij kunnen niet een beschrijving van de wereld geven vanuit het standpunt van God. Het enige wat van fysici verwacht kan worden, is een duidelijke beschrijving van datgene wat ze meten. In het ene experiment gedraagt het elektron zich als golf, in het ander als deeltje, maar het elektron is golf noch deeltje. Het is een 'elektron', en dat woord staat voor al onze ervaringen in experimenten met elektronen.

'In our description of nature the purpose is not to disclose the real essence of phenomena but only to track down as far as possible relations between the multifold of our experience.' Door meten tot weten. Voor Niels Bohr is het ons niet gegeven te weten welke weg het elektron aflegt van het kanon naar de detector. Wij registreren dat elektronen het kanon verlaten en ook dat ze bij de detector aankomen, maar wij meten niet door welke spleet ieder elektron gaat en dus kunnen wij dat ook niet weten. Het is als met het lampje van de koelkast in de keuken, wij denken wel dat het uitgaat als wij de deur dichtdoen, maar om het zeker te weten moeten we zelf in de koelkast kruipen en de deur achter ons dichttrekken.

In de klassieke mechanica kennen we de positie en de snelheid van een aantal deeltjes en kunnen dan uitrekenen welke banen die deeltjes zullen beschrijven. In de kwantummechanica kunnen we ook de toekomst voorspellen, maar op een heel andere manier. We kennen de begintoestand van een experiment en kunnen met de formules van de kwantummechanica de uitkomst van het experiment, de eindtoestand, uitrekenen. De uitkomst klopt met het experiment, maar de kwantummechanica vertelt ons niet hoe de deeltjes van de begin- naar de eindtoestand komen. Strikt genomen hoeft dat ook niet want wij meten het niet. Bohr schreef: 'Strictly speaking, the mathematical formalism of quantummechanics and electrodynamics merely offers rules of calculation for the deduction of expectations

about observations obtained under well-defined experimental conditions specified by classical physical concepts.'

Had Niels Bohr moeten verwijzen naar William James?

Niels Bohrs interpretatie van de kwantummechanica is pragmatisch. Dat bestrijdt niemand. Het is Bohrs grote verdienste dat hij als eerste heeft laten zien hoe met pragmatisme de problemen met de nieuwe fysica als sneeuw voor de zon verdwijnen. Maar Bohr is niet de ontdekker van het pragmatisme. Daarvoor moeten we bij de filosofen zijn en vooral bij William James die schreef: 'Theories thus become instruments, not answers to enigmas, in which we can rest.' En: 'They are only a man-made language, a conceptual shorthand, as someone calls them, in which we write our reports of nature; and languages, as is well known, tolerate much choice of expression and many dialects.'[5] Dit was in 1907, lang voordat Bohr zijn collegae in dezelfde richting wees. Daarom had hij in zijn geschriften beter kunnen verwijzen naar James. Bohr moet de filosofie van James al vroeg gekend hebben. Dit blijkt uit het laatste interview dat Kuhn met hem had. Kuhn vraagt of Bohr nog voordat hij in 1911 als jonge post-doc naar Manchester ging, het werk van James gelezen had. Bohr antwoordt: 'Oh yes, it was many years before.'[6] Rosenfeld, een van Bohrs collegae, suggereerde meerdere keren dat hij expliciet naar James moest verwijzen, maar Bohr weigerde resoluut want hij wilde 'geen label opgeplakt krijgen'.[7] Toch had hij er beter aan gedaan als hij wel naar James verwezen had. Dat was fair geweest ten op zichte van de filosoof. Bovendien hoefde Bohr zich niet te schamen voor zijn kennis van filosofie. Integendeel, Bohr heeft zijn collegae fysici, inclusief Einstein, de weg kunnen wijzen in de nieuwe fysica, juist omdat hij zich niet alleen interesseerde voor natuurkunde maar ook vertrouwd was met de filosofie van zijn tijd.[8]

Oerknallen, natuurgetallen en heelallen

Veltman zei dat hij de Nobelprijs pas zo laat gekregen had omdat hij niet zo goed is in pr als sommige collega-fysici. Hij dacht vast aan Steven Weinberg die al wereldberoemd was nog voordat hij in 1979 de Nobelprijs kreeg, nota bene voor elementairedeeltjes-fysica gebaseerd op de wiskundige methode van 't Hooft en Veltman. Twee jaar daarvoor, in 1977, had Steven Weinberg *The First Three Minutes* gepubliceerd, waarin hij zijn onderzoek in verband bracht met de 'Big Bang'-theorie. Het werd een bestseller omdat de auteur beloofde dat zijn verhaal het boek Genesis zou vervangen. Na het lezen van *The First Three Minutes* schreef ik Steven Weinberg een brief waarin ik hem vroeg nog eens uit te leggen hoe het mogelijk was dat in de Big Bang meer deeltjes dan antideeltjes werden gecreëerd. Ik kreeg nooit antwoord, ook niet in de artikelen die hij regelmatig publiceert in *The New York Review of Books*. Weinberg ventileert graag ferme uitspraken die stof doen opwaaien en hem veel pr bezorgen, maar in een dialoog is hij niet echt geïnteresseerd. In *The New York Review* van 21 oktober 1999 schrijft hij: 'I am all in favor of a dialogue between science and religion, but not a constructive dialogue'.

In het betreffende artikel 'A Designer Universe?' gaat Weinberg in op de vraag of er tekenen zijn die erop wijzen dat de evolutie volgens plan verloopt. Je zou denken dat degene die meent de ontwikkeling van het heelal vanaf de eerste drie minuten te kunnen beschrijven met natuurkundige wetten, deze vraag be-

vestigend beantwoordt. Op de vraag naar de blauwdruk van de schepping komt Weinberg dit keer niet met zijn riedel over de Theorie van Alles, maar met een wedervraag: toon mij een pasfoto van de schepper. Vervolgens komt hij met de bekende argumenten van driehonderd jaar oud. Als de schepper zich iets van ons zou aantrekken dan was er geen ellende in de wereld. Er is ontegenzeggelijk veel ellende, dus kan de wereld geen schouwtoneel zijn voor de Allerhoogste en kan diens bemoeienis niet de verklaring zijn van de wonderen die wij waarnemen. Weinberg gelooft niet in wonderen, nog minder dan in koude fusie. Sinds de kwantummechanica zijn de wonderen de wereld uit. Wanneer we de kwantummechanica zelf zullen begrijpen weet hij nog niet maar dat zou slechts een kwestie zijn van tijd.

Kennelijk vindt Weinberg het niet wonderlijk dat de wiskunde van 't Hooft en Veltman de taal der natuurkunde is en zowel van toepassing bij de experimenten met deeltjesversnellers als bij de beschrijving van de oerknal. Dat sommige natuurconstanten precies die waarden hebben die een heelal mogelijk maken zoals wij het kennen, inclusief het leven op aarde, dat wuift Weinberg weg met een eigenaardig argument. Waarschijnlijk was er niet één oerknal maar waren er oneindig veel en al die andere pogingen leverden niets op juist omdat bij al die andere knallen niet precies de juiste getallen tevoorschijn kwamen. De natuur is als een loterij met veel nieten. Survival of the fittest zou ook gelden voor oerknallen, natuurgetallen en heelallen.

Hoe meer wij van het universum begrijpen, hoe zinlozer het volgens Weinberg wordt. 'Eén van de verworvenheden van de wetenschap, als het niet is dat deze het ons onmogelijk maakt te geloven, dan is het dat wetenschap ons in staat stelt niet te geloven.' Daarom is een constructieve dialoog tussen geloof en wetenschap, volgens hem, onmogelijk.

Ik weiger Weinberg te geloven. Wetenschap en religie, nieuwsgierigheid en geloof spelen beide een rol bij ons overleven, an-

ders waren ze niet uit onze evolutie tevoorschijn gekomen. Dankzij onze nieuwsgierigheid begrijpen we de natuur steeds beter en kunnen we ons leven zo inrichten dat het steeds comfortabeler wordt. We maken daarbij ook ernstige fouten, zo ernstig zelfs dat ze ons fataal kunnen worden, maar we zijn ons dat bewust, we worden gewaarschuwd en we kunnen een strategie bedenken om te overleven. Dankzij de wetenschap. Ook van religie kunnen we leren, hoewel veel niet alleen onjuist is maar in veler ogen soms zelfs immoreel. De boodschap van religie is dat we moeten geloven. Ook de onderzoeker heeft geloof nodig: het geloof dat het zinvol is om nieuwsgierig te zijn, wetenschap te bedrijven, ook al zie je er soms het nut niet van in. Ook al weten we niet waartoe het zal leiden, ons leven heeft zin geleefd te worden, dat weten we niet zeker maar dat moeten we geloven.

Decadentie

Wij leven in een decadente wereld. En wij weten het. In de politiek, in de sport, op de televisie, in de kunst en in de wetenschap, overal bloeit de decadentie alsof zij weet dat de twintigste eeuw al weer ten einde is. In het fin de siècle leed mijn vak, de natuurkunde, allerminst aan decadentie maar thans is het ook voor de natuurkunde onmiskenbaar. Met het jaar 2000 zal dat niets te maken hebben, maar laat ik dit kroonjaar gebruiken om mij af te vragen waar de allesoverheersende decadentie in de natuurkunde vandaan komt, terwijl er bij de vorige eeuwwisseling toch geen sprake van was.

Ook de natuurkunde is uiteengevallen in een groot aantal specialisaties als: elementairedeeltjesfysica, kernfysica, atoom- en molecuulfysica, statistische fysica, vastestoffysica, bio- en medische fysica. De meeste natuurkundigen brengen hun hele leven door in een zo'n vakgebied. Omschakelen is ook bijna onmogelijk omdat men meestal jaren moet studeren eer men in een bepaald specialisme een creatieve bijdrage kan leveren. Bovendien vereisen de meeste vakgebieden enorme financiële investeringen om internationaal op peil te blijven. Zijn de investeringen eenmaal gedaan dan is het zaak om zo productief mogelijk te zijn en dus wordt een publicatiemachine op gang gebracht die bijna niet meer te stuiten is. Een productie van tien wetenschappelijke publicaties per vakgroep per jaar is eerder regel dan uitzondering. Zo haalt Nederland een output in de natuurkunde

van ruim drieduizend wetenschappelijke publicaties per jaar, goed voor een elfde plaats op de wereldranglijst. Er is geen mens die deze wetenschappelijke diarree kan verwerken, behalve Elsevier Science Publishers, die zijn omzet en zijn winst tot recordhoogte ziet stijgen. De bibliotheken staan vol ongelezen tijdschriftartikelen. Geen wonder dat men een Science Citation Index heeft ingevoerd waarmee al het wetenschappelijke werk enigszins naar waarde kan worden geschat. Het gemiddelde aantal citaties dat de computer registreert is 1, dus gemiddeld wordt elk wetenschappelijk werk slechts een keer aangehaald, maar omdat het goede werk vaak geciteerd wordt is er veel onderzoek dat door niemand de moeite waard wordt gevonden om er zelfs maar één keer naar te verwijzen. Nederland scoort op de citatie-index goed, wetenschappelijk behoren wij tot de G7. Hoewel deze score met enige trots aan de overheid wordt getoond is dat evenzeer een illustratie van decadentie want scoren lijkt in de wetenschap al even belangrijk te zijn geworden als op het voetbalveld.

De hedendaagse natuurkundigen vormen teams met een captain (de groepsleider), een coach (de labdirecteur), en een sponsor (de financier). Zij koersen gezamenlijk op een doel af in competitie met soortgelijke teams. Wie het eerst aankomt wordt gehuldigd en de beloningen liegen er niet om. Wie het niet bij kan houden, ondanks verwoed trekken en duwen, die probeert de nummer één te diskwalificeren. Lukt ook dat niet, dan nemen de ambitieuze slimmerds een zijweggetje, laten de publiciteitsmachine een nieuwe finishlijn trekken en gaan over deze zelfgemaakte meet onder ingeblikt applaus. Want wie wil de beloningen missen: publieke achting, een goed salaris, een heel team van waterdragers en soigneurs, en natuurlijk ook een nieuwe sponsor voor de volgende koers. De geïndustrialiseerde natuurkunde van na de oorlog is het spoor kwijt. Het gaat niet meer om 'atoms for peace', (als het daar ooit om gegaan is).

Waar gaat het dan wel om tegenwoordig?

In de elementairedeeltjesfysica hebben de theoretici het voor het zeggen. Zij hebben de moed om de GUTs (grand unified theory) te beloven, de ultieme theorie die volgens hen alles omvat. Deze theoretici voorspellen het ene elementaire deeltje na het andere. Voor de experimentatoren in dit vak rest slechts de ondankbare taak om de reeds voorspelde deeltjes te vinden. Geen wonder dat zij er een wedstrijd van hebben gemaakt. Wie in het CERN in Genève gaat kijken naar de grootste deeltjesversneller ter wereld, raakt onder de indruk van dit huzarenstuk van moderne techniek. Aan deze versneller is door honderden technici jaren gebouwd en hij heeft de hegemonie van de Europese deeltjesfysici over de Amerikaanse en Japanse concurrenten voor jaren zeker gesteld. Prompt hebben de Amerikaanse natuurkundigen aan het congres een bedrag gevraagd ter grootte van 8 miljard dollar, alleen om een nog grotere versneller te kunnen bouwen. Zij beloven daarmee het door de theoretici al lang voorspelde 'Higgs boson' te zullen vinden en Amerika weer de eerste plaats terug te geven in deze prestigieuze tak van de natuurkunde. De deeltjesfysica is een dochter van de kernfysica die haar moeder overvleugelt en opslokt. De kernfysici hadden zichzelf veilig kunnen stellen door het contact niet te verliezen met de kernenergie. Dat was voor de kernenergie ook beter geweest. Nu zijn beide vakgebieden na veertig jaar investeren op dood spoor gekomen. De atoomkern is letterlijk aan gruzelementen geschoten en onze illusies ook want het wereldenergieprobleem is niet opgelost. Ook niet door degenen die aan kernfusie in plaats van kernsplijting doen. Al veertig jaar beloven de kernfysici een duurzame en schone energiebron, maar het enige dat wij thans met zekerheid kunnen stellen is dat deze bron nog veertig jaar op zich zal laten wachten. Dat wordt niet graag hardop gezegd omdat men bang is de subsidies (alleen in Europa al meer dan 1 miljard gulden per jaar) te zullen verliezen.

In mijn eigen vak, de atoom- en molecuulfysica, zijn er twee symptomen van decadentie gemakkelijk te herkennen. Ten eerste wordt het vak gedomineerd door militaire subsidies, zowel in de VS als in de voormalige Sovjet-Unie, ten behoeve van het ontwikkelen van laserwapens. Ten tweede begeven wij ons van de ene gee-whiz naar de ander. (Een gee-whiz is een ontdekking waarvan iedereen zegt: gee... wat geweldig, maar daarna gaat het whiz... als een nachtkaars uit, omdat niemand er iets mee kan beginnen.) Wij zijn met z'n allen lid van de 'mutual admiration society'.

De statistische fysica is het terrein dat door de grote Van der Waals veroverd werd en hij bezorgde ons land een wereldnaam. Achter dikke gesubsidieerde dijken zijn de polderfysici nog decennialang doorgegaan met het kurkdroog bemalen van hun lage landje aan de zee. Alles wat meetbaar was werd gemeten, ongeacht of iemand er belangstelling voor had. Thans blijkt dat de methoden en technieken uit de statistische fysica toepasbaar zijn bij de studie van complexe systemen als polymeren en vloeibare kristallen. Tot nu toe wensten de fysici zich met deze 'chemie' niet in te laten. Daarin komt verandering nu de Nobelprijs voor natuurkunde juist in dit vak is gevallen.

De vastestoffysica is een van de meest levendige en grootste vakgebieden geworden in de moderne natuurkunde, vooral dankzij de researchlaboratoria van AT&T Bell, van IBM en van Philips. Er is een hele reeks schitterende ontdekkingen gedaan en er zijn hele nieuwe vakgebieden, als oppervlaktefysica en mesoscopische fysica, ontstaan. Het onderzoek heeft geleid tot een reeks van producten die op de markt worden gebracht. Toch ligt ook hier de decadentie op de loer, zoals bleek toen supergeleiding ontdekt werd bij hoge temperatuur. Werkelijk duizenden fysici stortten zich toen op dit onderwerp. Wat zij op dat moment aan het doen waren mag Joost weten, het was kennelijk van ondergeschikt belang, want zij konden zo overstappen op

supergeleiding. Een zelfde effect had de vermeende ontdekking van de zogenaamde koude fusie.

Nu het de bedrijven in de micro-elektronica even niet zo goed gaat en men op de betreffende laboratoria aan de medewerkers vraagt een grotere bijdrage te leveren aan de technologie van de onderneming, klagen de geleerden verontwaardigd over het vernietigen van hun o zo fundamentele onderzoek, dat echter voor de onderneming niet zo fundamenteel blijkt te zijn. Men heeft nog niet geleerd dat in vrijwel elke technologie een interessant fysisch probleem zit, als je maar diep genoeg graaft.

De bio- en medische fysici lijden aan een minderwaardigheidscomplex. Door de andere fysici worden deze vakgebieden meestal niet voor vol aangezien omdat men geen fundamenteel onderzoek zou doen en te veel empirisch bezig is.

Hoe heeft het zover kunnen komen? Tijdens het 'fin de siècle' was er van decadentie in de natuurkunde niets te merken. Rondom die eeuwwisseling maakte het vak een van de spannendste tijden door uit zijn geschiedenis. Er heerste een verwoede discussie tussen atomisten en degenen die niet in het bestaan van atomen geloofden. De laatsten waren aanvankelijk in de meerderheid want zeker voor die tijd was het atoom te klein om het waar te nemen. De atoomtheorie verklaarde echter in één klap zowel de chemische als de natuurkundige observaties van toen. Op basis van de atoomtheorie werd in het begin van de twintigste eeuw duidelijk waar de wetten van Boyle en Gay-Lussac vandaan komen, wat het getal van Avogadro precies voorstelt, hoe het periodiek systeem van Mendelejeff geïnterpreteerd dient te worden, waarom het theorema van Van 't Hoff exact geldt, hoe de soortelijke warmte van gassen verklaard moet worden, wat Brownse beweging is, wat dit te maken heeft met Smoluchowski's theorie over fluctuaties, hoe de Raileigh-verstrooiing van licht moet worden geïnterpreteerd, de absorptiewetten van Stefan en Boltzmann en de zwarte straler, de röntgenstra-

ling, de constante van Planck en het foto-elektrisch effect.

Verschijnselen die onbegrepen waren en ogenschijnlijk weinig met elkaar te maken leken te hebben, bleken plotseling op atomair niveau verklaard te kunnen worden. De euforie over deze ontdekking was enorm en heeft de natuurkunde van de twintigste eeuw gedomineerd. Albert Einstein, de grootste natuurkundige van onze tijd, heeft zich door de triomf der atoomfysica laten misleiden. Hij was nauw betrokken bij het reduceren van macroscopische verschijnselen tot eenvoudige atoomfysica. Het moet voor hem zo'n openbaring zijn geweest dat hij meende in het reductionisme de goddelijke opdracht der fysici te hebben gevonden. Einstein heeft toen de rest van zijn leven gewijd aan het zoeken naar het diepste niveau waarop alle natuurkundige verschijnselen zouden samenkomen, waar de grote formule te vinden zou zijn waarmee God de wereld had geschapen. De gevolgen voor de natuurkunde zijn desastreus geweest. Omdat Einstein het deed, dacht iedere fysicus dat het echte fundamentele onderzoek der materie op reductionistische manier bedreven moest worden. Al het op toepassing gerichte onderzoek werd inferieur gevonden tegenover een hoger doel: het vinden van de steen der wijzen. Tevergeefs, wij weten inmiddels dat in het atoom een oneindige wereld van fysische verschijnselen is waar te nemen. Einsteins ideaal is als een wijkende horizon, steeds als men denkt op het diepste niveau te zijn aangeland blijkt er weer een nieuwe fysische wereld achter te zitten. De fundamenten zijn niet te vinden. De fundamentele opdracht die alle fysici van de grote Einstein geërfd lijken te hebben, en die de natuurkunde van de twintigste eeuw heeft gemonopoliseerd, is een onmogelijke opdracht gebleken. Er moet een hele nieuwe filosofie van de natuurkunde komen want die van Einstein voldoet niet meer. Bij gebrek aan de juiste filosofie zijn de natuurkundigen van de twintigste eeuw het goede spoor kwijtgeraakt en dus bloeit de decadentie.

Waarom Einstein?

Time Magazine koos Albert Einstein tot persoon van de eeuw, www.time.com/poc.

Waarom niet 't Hooft en Veldman?
Waarom niet Tinbergen en Koopmans?
Waarom niet Zeeman en Zernike?
Waarom niet Lorentz en Van der Waals?
Waarom niet Kamerlingh Onnes?
Waarom niet Bloembergen en Van der Meer?
Waarom niet Van 't Hoff en Debije?
Waarom niet Einthoven en Eykman?
Waarom niet T.M.C. Asser?

Waarom niet Bose en Einstein?
Waarom niet Einstein, Podolsky, Rosen?
Waarom niet Einstein en Bohr?
Waarom niet Werner Heisenberg?
Waarom niet Fermi of Rubia?
Waarom niet Pauli of Feynman?
Waarom niet Bethe of Bloch?
Waarom niet Dirac of Doppler?
Waarom niet Geiger of Gell-Mann?
Waarom niet Röntgen of Rutherford?
Waarom niet Marie Curie?

Waarom niet Irene Joliot-Curie?
Waarom niet Marin Goeppert-Mayer?
Waarom niet Simone de Beauvoir?
Waarom niet Indira Gandhi?
Waarom niet Florence Nightingale?
Waarom niet Prinses Diana?
Waarom niet Monica Lewinsky?
Waarom niet Hillary Clinton?
Waarom niet Dolle Mina of Loesje?

Waarom niet Anne Frank?
Waarom niet Pearl Buck?
Waarom niet Nadine Gordimer?
Waarom niet Toni Morrison?
Waarom niet Wislawa Szymborska?
Waarom niet Leni Saris?
Waarom niet Oriana Fallaci?
Waarom niet Marilyn French?
Waarom niet Germaine Greer?
Waarom niet Alice Walker?

Waarom niet Winston Churchill?
Waarom niet John F. Kennedy?
Waarom niet Franklin D. Roosevelt?
Waarom niet Bill Clinton?
Waarom niet Jesse Jackson?
Waarom niet Michael Jackson?
Waarom niet Bob Dylan of John Lennon?
Waarom niet de Mothers of Invention?
Waarom niet Charlie Chaplin?
Waarom niet de Dikke en de Dunne?

Waarom niet Martin Luther King?
Waarom niet Mahatma Gandhi?
Waarom niet Nelson Mandela?
Waarom niet Andrej Sacharov?
Waarom niet Alexander Solzjenitsyn?
Waarom niet Vaclav Havel?
Waarom niet Boris Pasternak?
Waarom niet Rabindranath Tagore?
Waarom niet Anton Constandse?

Waarom niet Bertha S.F. von Suttner-Kinsky?
Waarom niet Jane Addams?
Waarom niet Emily G. Balch?
Waarom niet Betty Williams?
Waarom niet Mairead Corrigan?
Waarom niet Moeder Teresa van Calcutta?
Waarom niet Alva Myrdal?
Waarom niet Aung San Suu Kyi?
Waarom niet Rigoberta Menchu?

Waarom niet Hitler en Eichmann?
Waarom niet Stalin en Lenin?
Waarom niet Mao Zedong en Pol Pot?
Waarom niet Brezjnev en Chroesjtsjov?
Waarom niet Johnson Moo... lenaar?
Waarom niet Khomeiny of Milosevic?
Waarom niet Che Guevara of Fidel Castro?
Waarom niet Sartre of Gorki?
Waarom niet Paul de Groot of Gortzak?

Waarom niet Graham Bell?
Waarom niet Henry Ford?
Waarom niet Wilburn en Orville Wright?

Waarom niet Frits en Anton Philips?
Waarom niet Turing of Shockley?
Waarom niet Oppenheimer of Teller?
Waarom niet Werner von Braun?
Waarom niet Fleming of Barnard?
Waarom niet Watson en Crick?
Waarom niet Linus Pauling?
Waarom niet Bill Gates?

Omdat $E=mc^2$?
Omdat God niet zou dobbelen?
Om het foto-elektrisch effect?
Om de relativiteitstheorie?
Omdat de zon het licht van Mercurius afboog?
Omdat ruimte en tijd gekromd zijn?
Omdat hij droomde van een Theorie van Alles?
Om zijn gedachtekracht?
Omdat hij pacifist was?
Omdat hij moest vluchten voor Hitler?
Omdat hij Roosevelt vroeg om de bom?
Om zijn wilde haren?

Omdat dit toch de eeuw was van wetenschap en techniek, en hij daarvan het symbool?
Omdat wij hem niet begrijpen.

Zweistein

Hij droomt van ruimte en tijd, zoals de wereld zou kunnen zijn, betoverend.

– De tijd is een cirkel in zichzelf gekromd, de wereld herhaalt zichzelf exact, eindeloos, maar de meeste mensen weten niet dat ze hun leven zullen overdoen, iedere handdruk, iedere kus, iedere geboorte en ieder woord. Een enkeling vermoedt dat alles in het verleden al is gebeurd. Dat zijn de ongelukkigen, overweldigd door de wetenschap dat ze geen enkele daad, geen enkel gebaar kunnen veranderen. Zij voelen dat de tijd een machine is die hun vergissingen, wandaden en tegenslagen in de vorige lus van de tijd doet herhalen in dit leven.

– Hij droomt van een wereld waarin de tijd drie dimensies heeft net als de ruimte. Iedere toekomst beweegt zich in een andere richting, tegelijkertijd. Op ieder beslissingsmoment splitst de wereld op in drie werelden, na verloop van tijd is er een oneindig aantal. Hoe kan iemand in zo'n wereld verantwoordelijk zijn voor zijn daden?

– Hij droomt van twee soorten tijden, een mechanische en een lichamelijke. De eerste is even rigide als een ijzeren slinger, de tweede kronkelt en wriemelt als een baars in een baai. De eerste is gedetermineerd, in de tweede worden beslissingen al doende genomen. Waar de twee tijden samenkomen, wanhoop, waar ze ieder huns weegs gaan, tevredenheid. Elk der tijden is waar, maar het zijn niet dezelfde waarheden.

– Een wereld waarin de tijd absoluut is, is een troostrijke wereld. Want terwijl de bewegingen van mensen onvoorspelbaar zijn, is de beweging van de tijd voorspelbaar. Terwijl aan mensen kan worden getwijfeld, kan aan de tijd niet worden getwijfeld. Terwijl mensen piekeren, springt de tijd voort zonder terug te kijken.

– Neem een wereld waarin oorzaak en gevolg door elkaar lopen. Dan zegt men: als de invloed van het verleden op het heden onzeker is, hoef je niet bij het verleden te blijven stilstaan. En als het heden weinig invloed heeft op de toekomst, hoeven handelingen in het heden niet te worden afgemeten naar hun consequenties. Het is een wereld waarin ieder gesproken woord louter tot dat moment spreekt, iedere blik maar één betekenis heeft, iedere aanraking verleden noch toekomst heeft.

– De tijd is overal zichtbaar. Klokkentorens, polshorloges en kerkklokken verdelen jaren in maanden, maanden in dagen, dagen in uren en uren in seconden. Toch komen de inwoners van Bern iedere middag bij elkaar aan het westelijk eind van de Kramgasse onder de Zytgloggeturm. Om exact drie uur slaat een massieve klok driemaal, de mensen zetten hun horloges gelijk en keren terug naar hun kantoren, hun winkels en hun boerderijen. Iedereen, behalve de klerk van het octrooibureau die tegen zijn vriend zegt dat hij de tijd wil begrijpen. Maar hij zegt niets over zijn dromen.

Van Einstein is veel bekend maar niet wat hij droomde toen hij aan de relativiteitstheorie werkte. Dat geeft de fysicus en romanschrijver Alan Lightman een kans zijn creativiteit te ontplooien. Hij laat Einstein dromen over de tijd. Zijn dromen zijn het onderzoek gaan overheersen, maar nu is het met dromen gedaan. Van de vele mogelijke vormen van tijd, voorgesteld in evenzovele nachten, lijkt één onontkoombaar. Het is 28 juni 1905, de octrooiklerk heeft zijn relativiteitstheorie klaar. Niet dat de andere vormen van tijd onmogelijk zijn. Ze bestaan wellicht in andere werelden. Alan Lightman heeft ze bedacht en be-

schrijft ze in zijn roman *Einsteins dromen.*

– Een man zit alleen aan zijn tafel, die gedekt is voor twee. Tien jaar geleden zat hij hier tegenover zijn vader, kon niet zeggen dat hij van hem hield. De man begint te eten, kan niet eten, kan zijn tranen niet bedwingen. Hij heeft nooit gezegd dat hij van hem hield. De tragedie van deze wereld is dat niemand gelukkig is, want iedereen die in de tijd blijft zitten, blijft alleen zitten.

– Als de tijd een pijl is, wijst die pijl naar ordening. De toekomst betekent patronen, organisatie, vereniging, intensivering; het verleden willekeur, chaos, desintegratie, verstrooiing. In zo'n wereld blijven mensen die hun huis niet op orde hebben, in bed liggen wachten tot de natuurkrachten het stof van hun vensterbanken vegen en de schoenen in hun kasten rechtzetten. Bureaus zijn aan het eind van de dag vanzelf opgeruimd. Kleren die 's avonds nog op de vloer liggen, hangen 's morgens over een stoel. Verdwenen sokken duiken weer op.

– Er is een plaats waar de tijd stilstaat. De reiziger die dit oord uit welke richting ook nadert, gaat steeds langzamer. De tijd tussen zijn hartslagen wordt langer, zijn ademhaling vertraagt, zijn lichaamstemperatuur daalt, zijn gedachten verminderen totdat hij het middelpunt bereikt en stilstaat. Want dit is het middelpunt van de tijd. Van hieruit beweegt de tijd zich naar buiten in concentrische kringen: in rust in het centrum, allengs sneller naarmate de diameter toeneemt.

– Er zijn er die zeggen dat je het middelpunt van de tijd beter kunt mijden. Het leven is een vat van smart, maar het is nobel het leven te leven en zonder tijd is er geen leven. Anderen zijn het daar niet mee eens. Zij hebben liever een eeuwigheid van tevredenheid, ook al is die eeuwigheid verstard en dood, als een opgeprikte vlinder.

– In deze wereld gaat de tijd langzamer voor mensen in beweging. Daarom verplaatst iedereen zich met grote snelheid, om tijd te winnen. Er zijn mensen die beweren dat de reusachtige

klokkentoren in de Kramgasse de ware tijd aangeeft, dat alleen die in rust is. Anderen wijzen erop dat zelfs de reusachtige klok in beweging is, gezien vanaf de rivier de Aare of vanaf een wolk.

– In deze wereld is de tijd een lijn die in het heden eindigt, zowel in de werkelijkheid als in de verbeelding van de mensen. In deze wereld kan niemand zich een voorstelling maken van de toekomst. Sommigen raken hierdoor verlamd. Anderen springen vroeg uit bed, het interesseert hun niet dat ze hun leven niet kunnen uitstippelen. Ze leven van het ene moment in het andere en ieder moment is even intens. Weer anderen vervangen de toekomst door het verleden. Ze overpeinzen iedere herinnering, iedere verrichte daad, iedere oorzaak en ieder gevolg, ze bezien gefascineerd hoe de gebeurtenissen hen naar dit moment hebben gevoerd, het laatste moment van de wereld, het einde van de lijn die de tijd is.

– In een wereld waarin de tijd niet te meten is, zijn er geen klokken, geen kalenders, geen vaste afspraken. Gebeurtenissen worden veroorzaakt door andere gebeurtenissen, niet door de tijd. Er wordt aan een huis begonnen als stenen en hout op de bouwplaats aankomen. De steengroeve levert stenen wanneer de steenhouwer geld nodig heeft. De advocaat loopt zijn huis uit en gaat pleiten in een zaak wanneer zijn dochter een grapje maakt over zijn kalende hoofd. De opleiding aan het gymnasium in Bern is afgerond wanneer de leerling zijn examen heeft gehaald. Treinen verlaten het station aan de Bahnhofplatz wanneer de coupés vol zijn.

– In deze wereld gaat de tijd achteruit. Een man van middelbare leeftijd stapt van het podium van een aula in Stockholm met een onderscheiding in zijn hand. Zijn gedachten gaan snel twintig jaar verder in de toekomst, als hij eenzaam met alleen pen en papier op een kamertje zit. Hij zal dag en nacht werken, hij zal vaak een valse start maken en de prullenbak zal vol raken met mislukte series vergelijkingen en logische reeksen. Maar op

sommige avonden zal hij naar zijn bureau terugkeren in de wetenschap dat hij dingen over de Natuur te weten is gekomen, die niemand ooit heeft geweten.

Zo droomt Alan Lightman zich Einstein, de droom van iedere fysicus. Hij probeert een gewichtig probleem te doorgronden, een oplossing te vinden voor een vraag waarvoor veel belangstelling bestaat maar waarop nog geen mens het antwoord heeft kunnen geven. Zijn hersenen stellen hem in staat tot revolutionaire hypothesen en logische analyses van de fysische werkelijkheid. Hij heeft geen behoefte aan experimenten, wel aan vrije uitvindingen van de geest. Hij is iemand die bedenkt wat nog niemand bedacht heeft en wie zijn vindingen test staat versteld, want de voorspellingen kloppen, ook al lijken ze nog zo ongelooflijk.

In april 1905, toen Einstein begon te werken aan de relativiteitstheorie, ging het hem nog niet om ruimte en tijd, maar om een ander probleem uit de natuurkunde. Men had in de vorige eeuw geleerd dat licht een elektromagnetische golf is en men dacht dat die golf zich alleen kon voortbewegen in materie, net als geluid dat zich kan voortplanten in lucht, vloeistoffen of vaste stoffen maar niet in vacuüm. De materie waarin men dacht dat lichtgolven zich voortplanten werd ether genoemd. Maar metingen van de snelheid van licht gaven een onbegrijpelijk resultaat. Experimenten met een lichtdetector in een rijdende trein of stilstaand op het station gaven precies dezelfde waarden. Dat is vreemd want zoals men weet planten geluidsgolven zich aanmerkelijk sneller voort met wind mee dan tegen de wind in. Als eerste stap naar een oplossing voor dit probleem stelde Einstein voor dat ether niet bestond. Daarmee verwijderde hij niet alleen het medium waarin lichtgolven zich voortbewogen maar ook de mogelijkheid de beweging van licht absoluut te meten. Alleen relatieve bewegingen resteerden nog, vandaar de term 'relativiteitstheorie'. De betekenis van ruimte en tijd wordt be-

paald, zei Einstein, door de onderlinge afstand tussen twee voorwerpen en de tijd die tussen twee gebeurtenissen verstrijkt. Wanneer twee metingen met elkaar vergeleken worden, moet men ook beide meetstokken en chronometers met elkaar vergelijken. Ook al merken wij het niet, aldus Einstein, een bewegende klok tikt langzamer dan een stilstaande en een bewegende meetlat is korter dan een stilstaande. Dat was zijn tweede baanbrekende stap in de richting van Stockholm. Hij berekende hoeveel een bewegende en een stilstaande chronometer en een bewegende en een stilstaande meetlat van elkaar moesten verschillen in tijd en lengte om dezelfde snelheid te kunnen meten voor een lichtstraal die voorbijkomt. De verschillen zijn gering maar ze kloppen met experimenten. Een seconde op aarde duurt in een supersonisch straalvliegtuig 1,0000000000014 seconde en de verschillen worden groter naarmate men sneller beweegt en de lichtsnelheid dichter begint te naderen. Onze intuïtie, gebaseerd op alledaagse ervaringen, misleidt ons, maar niet Einstein.

Einsteins dromen gaat over het creatieve proces van een ontdekking, niet over de ontdekking zelf. Een uitleg van de relativiteitstheorie, zoals ik hierboven geef, staat er niet in. We zien de uitvinder die 's avonds, als zijn collega's al naar huis zijn, boven pen en papier lijkt te dromen. Hij wil de tijd doorgronden en laat zijn gedachten de vrije loop. In korte beschrijvingen van drie tot vier kleine bladzijden schept Alan Lightman een twintigtal werelden zoals Einstein ze overdacht zou kunnen hebben. Het zijn wonderlijke maar ook alledaagse werelden. Ze worden uitgetekend met een trefzekere pen en fascinerende details. Daarbij horen ook korte filosofische beschouwingen zoals wij die van de latere Einstein kennen. In het sombere octrooibureau zit de uitvinder in zichzelf gekeerd. Van Bern zijn alleen de daken te zien door het kleine kantoorraam. Hier speelt Einstein met zijn gedachten als een kat met zijn prooi. Toch ontdekt het

genie hier hoe de wereld in elkaar zit. Tenminste, zo stelt Alan Lightman zich voor hoe de relativiteitstheorie tot stand kwam.

In een wereld waar Einstein al geweest is, wat heeft een tweede fysicus daar nog te zoeken? Over deze vraag gaat Alan Lightmans roman: *Brave Benito*, waarin de jonge Bennett begint als hoogleraar op een kleine universiteit, Leominster, in een vakgroep waaraan ook een beroemde fysicus met de naam Scalapino verbonden is. Diens reputatie berust op twee korte uit congressen voortgekomen verhandelingen. Op die bijeenkomsten kwam de als kluizenaar levende natuurkundige onverwacht opdagen en gaf twee bondige maar briljante lezingen om vervolgens te verdwijnen. Elk van zijn lezingen, uitgeschreven door bewonderende studenten, heeft de koers van de natuurkunde in het betreffende gebied gewijzigd. Een enkele voetnoot in de tweede verhandeling heeft geleid tot wat uiteindelijk 'Scalapino's kwantuminstabiliteit' is gaan heten. Maar sinds tien jaar heeft hij niets gepubliceerd en zich niet meer vertoond, ook niet op Leominster. De decaan, die hoopte dat Scalapino de Nobelprijs naar Leominster zou brengen, draagt Bennett op om bij de zonderling thuis op bezoek te gaan en te trachten uit diens aantekeningen enkele bruikbare wetenschappelijke publicaties te halen. Na veel aandringen lukt het Bennett om toegang te krijgen tot de dossiers, waarin hij zich met veel enthousiasme en bewondering verdiept, maar de bladzijden liggen door elkaar. Hij kan niet alle wiskunde volgen. Er zitten af en toe vreemde grafieken tussen waaraan hij kop noch staart ziet. Sommige berekeningen zijn geschreven op boodschappenlijstjes en rekeningen van het elektriciteitsbedrijf en onderleggers uit restaurants. Hij worstelt weken tot hij zich ten einde raad tot Scalapino wendt, maar die wijst hem af. Hij kan zich er niet toe zetten zich nog eens te verdiepen in een voor hem opgelost probleem. Dan haalt Bennett hem over tot samenwerken aan het entropieprobleem

in het universum, hoe uit de oerknal ooit een heelal kan zijn ontstaan met zo'n hoge staat van orde? Nadat Scalapino zich flink heeft ingespannen krijgt Bennett een verklaring. Onmiddellijk schrijft hij alles op en haast zich naar zijn studeerkamer om er zijn eigen bijdrage aan toe te voegen, een bijdrage die eruit bestaat dat hij de eerste vergelijking zorgvuldig verifieert, het fysieke beeld erachter in woorden beschrijft en alles in keurig en degelijk gedocumenteerde vorm kopieert. Dan gaat hij terug naar Scalapino, die als een razende op een blocnote zit te krabbelen. De samenwerking zet zich op deze manier een paar maanden voort. Af en toe lukt het hem om zonder Scalapino's hulp de volgende wiskundige stap te zetten en knikt en glimlacht de grote natuurkundige om de nieuwe uitkomst van zijn assistent. De bladzijden stapelen zich op. Halverwege april, vlak voor het ochtendgloren, bereiken ze de eindstreep. Om de laatste vergelijking op te lossen hebben ze Scalapino's computer moeten inschakelen. De einduitkomst is een enkel getal, met vijf decimalen. Scalapino had liever meer cijfers gezien, maar zo nauwkeurig was zijn computer niet. Een week later is hun gezamenlijke wetenschappelijke publicatie uitgetypt en klaar voor verzending naar het tijdschrift. Bennett controleert in de universiteitsbibliotheek nog enige referenties. Dan valt zijn oog op een recente uitgave van *Nuova Physica*, een obscuur Italiaans natuurkundetijdschrift. De inhoudsopgaaf vermeldt een titel die gelijk is aan het artikel dat hij net met Scalapino geschreven heeft. Razendsnel slaat hij de laatste bladzijde op. Het slotgetal stemt tot op de eerste vijf decimalen overeen. Scalapino verbaast het niet, maar Bennett is ontgoocheld en de rest van de roman gaat over zijn totale ontreddering en de vraag hoe hij, die geen genie is, ooit voor het vak natuurkunde heeft kunnen kiezen.

Alan Lightman beschrijft het enthousiasme waarmee Bennett op school in Memphis kennismaakt met de schoonheid van de wiskunde, die hem in staat stelt ingewikkelde problemen te re-

duceren tot oplosbare rekensommen en de geweldige kick doet ervaren die het vinden van de oplossing geeft. Samen met de vindingrijke John bouwt Bennett een telefoon die op lichtsignalen werkt en een raket die gelanceerd wordt maar crasht. John wordt elektrotechnisch ingenieur, begint een eigen bedrijf en maakt daar een succes van. Bennett is meer geschikt voor de theorie dan voor het experiment. Hij gaat naar de universiteit, die Lightman beschrijft als een gekkenhuis met studenten en docenten die in onderwijs noch onderzoek geïnteresseerd zijn maar alleen in hun eigen carrière. Wie voor zijn zevenendertigste niet de Nobelprijs heeft verdiend is mislukt. De moderne wetenschap is verworden tot een wedstrijd van emotioneel gestoorde en maatschappelijk onaangepaste individuen.

Lightman vertelt uit ervaring, hij is de John Burchard Professor of Science and Writing aan Massachusetts Institute of Technology, een van de Amerikaanse topuniversiteiten. Lezers van *Science 80*, *Smithsonian* of *The New York Review of Books* kennen zijn thema's al van de essays die hij publiceerde (recent gebundeld en uitgegeven onder de titel *Pas de deux*), waarin hij zich net als in de romans toont als filosoof, leraar, polemist, verteller en dichter. Maar vreemd genoeg niet als onderzoeker. Hij behandelt een eenvoudig bewijs van Aristoteles dat de aarde rond is. Je kan het met eigen ogen zien aan de vorm van de schaduw van de aarde tijdens een maansverduistering. Je hoeft alleen maar 's nachts op het juiste moment omhoog te kijken en waar te nemen wat er gebeurt. En dan voegt Lightman eraan toe: 'Ik heb het nog nooit gedaan.' De proefondervindelijke wetenschap heeft hij niet nodig, hij wil 'de wereld verzinnen' en meent dat Einstein zijn voorbeeld is.

Hij beschrijft een dag in december in Palo Alto waar iedereen heel gewoon zijn dagelijkse dingen doet en, net als indertijd in Bern, geen weet heeft van het feit dat Alan Guth in zijn kantoor

op de theoretische afdeling van het Stanford Linear Accelerator Center, aan zijn bureau gezeten met alleen pen en papier ergens tussen elf en twaalf uur het wiskundig bewijs ontdekt dat het pasgeboren heelal tien miljard jaar geleden enorm moet zijn uitgedijd.

Een ander essay vertelt hoe Lightman in een natuurkundetijdschrift van een jaar oud las dat twee Japanners hetzelfde probleem hebben aangepakt dat hij juist aan het afronden is en de Japanners vonden dezelfde oplossing, tot vier cijfers achter de komma!

In het essay 'Vervlogen verwachtingen' jammert Lightman dat natuurwetenschappers, net als sportlieden, het lenigst zijn in hun jonge jaren. Isaac Newton was begin twintig toen hij de wet van de zwaartekracht ontdekte, Albert Einstein was zesentwintig toen hij de relativiteitstheorie formuleerde en James Clerk Maxwell had de elektromagnetische theorie al klaar voor hij zich op vijfendertigjarige leeftijd zou terugtrekken op het platteland. De gemiddelde leeftijd waarop natuurkundigen het werk doen dat hen later een Nobelprijs oplevert, is zesendertig. Op deze leeftijd komt Lightman over zijn eigen wapenfeiten in de natuurkunde tot de conclusie dat het degelijk werk was maar niet briljant en dus nauwelijks de moeite waard.

Wat is er loos met Lightman? Aan creativiteit ontbreekt het hem niet. In zijn werkkamer gooide hij eens de zoveelste irrelevante berekening in de prullenmand en bad tot de muzen om een paar nieuwe ideeën, toen Isaac Newton binnenwandelde en vertelde een fout te hebben gemaakt in de algemene wet van de zwaartekracht, hij had antizwaartekracht helemaal over het hoofd gezien. Met frisse moed en in het volste vertrouwen binnenkort wereldberoemd te zullen worden probeert Alan Lightman de wetmatigheid voor antizwaartekracht af te leiden. Tevergeefs. En de bogen die zijn proppen op weg naar de prullenmand ma-

ken illustreren dat Newtons vergelijkingen correct zijn. Lightman geeft het op want het lukt hem niet om Einstein te evenaren. Maar hij gooit de handdoek te vlug in de ring. De juiste wetmatigheden komen alleen door hardnekkig onderzoek tot stand, ze zullen niet vanzelf komen aanwaaien, als dromen. De kracht van Einstein was niet dat hij zo mooi droomde. Hij was een genie omdat hij op het juiste moment de juiste vraag stelde en op die vraag net zolang bleef broeden tot hij een oplossing had. Hij was verstrooid omdat hij zo ingespannen dag en nacht aan het beantwoorden van zijn vragen werkte en zich zozeer in zijn onderzoek verdiepte dat hij er zelfs van droomde. Einstein werd gedreven door wetenschappelijke nieuwsgierigheid, niet door angst als tweede te finishen.

En er is hoop voor Alan Lightman. Antizwaartekracht is plotseling actueel, sinds recente metingen met de Hubble-telescoop hebben laten zien dat het heelal met veel grotere snelheid uitdijt dan met de klassieke wetten van de zwaartekracht te verklaren is. Er is zelfs sprake van dat Einstein een grote fout zou hebben gemaakt.

Alan, er is behoefte aan een tweede Einstein.

De ontdekker en de uitvinder

Kort nadat prof. W.C. Röntgen de ontdekking van een nieuw soort straling bekend heeft gemaakt, krijgt hij bezoek van dr. Max Levy, die door de directie van AEG naar de universiteit van Würzburg is gestuurd om een samenwerkingsovereenkomst met de professor te sluiten. Röntgen luistert beleefd, hij is zeer vereerd door de belangstelling van zo'n grote onderneming voor zijn ontdekking, maar hij wijst het voorstel resoluut van de hand. Röntgen is van mening dat wetenschappelijke ontdekkingen tot het nut van het algemeen zijn en niet met octrooien of licenties behoren te worden geëxploiteerd door enkelingen. Aan de andere kant van de oceaan denkt Edison daar anders over: 'Professor Röntgen verdient waarschijnlijk niets aan zijn ontdekking. Hij behoort tot de zuivere wetenschappers, die uit liefde voor hun vak en met plezier zich verdiepen in het onderzoek naar de geheimen der natuur. Nadat zij iets wonderbaarlijks ontdekt hebben, moet er iemand komen die met een praktisch oog naar de zaak kijkt. Zo moet het ook met Röntgens ontdekking gaan. Men moet zien hoe men die praktisch waarderen kan en er financiële resultaten uit kan halen.'

In december 1895, nog voordat hij zijn ontdekking publiceert, maakt Röntgen de wereldberoemde foto waarop de botjes van de hand van zijn vrouw en de trouwring te zien zijn. Toch beschouwt hij de commotie rond 'X-stralen', die binnen een halfjaar wereldwijd ontstaat (een hype in een tijd zonder internet,

waarin de telefoon nog maar net zijn intrede heeft gedaan), als onwelkome afleiding van zijn onderzoek. Röntgen is meer gefascineerd door de vraag naar de ware aard van de nieuwe straling, zoals blijkt uit het slot van zijn eerste publicatie waarin hij schrijft: 'Sollten nun die neuen Strahlen nicht longitudinale Schwingungen im Äther zuzuschreiben sein.' Ook de volgende publicaties van Röntgen gaan meer over de oorsprong van de nieuwe straling dan over de mogelijke toepassingen van zijn ontdekking. De uitvinder Edison daarentegen ontwikkelt voor de elektriciteitstentoonstelling in New York in augustus 1896, dus binnen een halfjaar, een fluorescoop waarmee mensen naar hun eigen botjes kunnen kijken. Hiermee trekt Edison de meeste bezoekers op deze tentoonstelling.

Thans zijn in de tempel der wetenschap de Röntgens een rariteit. Octrooien zijn in de mode. Het meest krankzinnige voorbeeld komt van genetici die zelfs proberen het menselijk genoom te octrooieren. Bill Clinton en Tony Blair lijken daar nu een stokje voor te steken, men kan toch niet 'de taal van de schepper' octrooieren? Wij maken kennelijk geen onderscheid meer tussen de ontdekker en de uitvinder: de eerste ontdekt wat er al was maar nog niet eerder door de mens is waargenomen, zoals röntgenstralen, de tweede vindt een bruikbare toepassing, zoals doorlichten. De ontdekker publiceert, de uitvinder octrooieert, allebei soms als idioten.

Er zijn er die denken slim te zijn door hun werk voorlopig geheim te houden. Zij komen echter vaak bedrogen uit, als er een ontdekking of een uitvinding wordt gedaan dan is de tijd daar rijp voor, zodat men op meerdere plaatsen tegelijk 'eureka' roept. Wie zijn ontdekking geheimhoudt, loopt grote kans dat een ander met de eer gaat strijken. Dat gold ook voor röntgenstralen aan het eind van de vorige eeuw, hoewel Röntgen de Nobelprijs kreeg spreekt men in de meeste landen van X-stralen. Wetenschappelijke kennis wordt gepubliceerd, in het algemeen belang zoals Röntgen zei, en

dat van de onderzoekers, zeggen wij er nu bij.

De ontdekker die fundamentele kennis geheimhoudt loopt misschien een Nobelprijs mis, de uitvinder die bruikbare kennis voor zichzelf houdt vertraagt de toepassing. Het klinkt misschien paradoxaal, maar wie bruikbare kennis bezit kan die, in het belang van de toepassing, beter beschermen door een octrooi. Hierdoor krijgt men de gelegenheid in de vinding te investeren, geld dat terug verdiend moet worden uit de revenuen van de monopoliepositie die men met het octrooi tijdelijk verwerft. Maar de uitvinder is niet altijd zelf een Edison, de meest geschikte om de uitvinding aan de man te brengen. Door het octrooi krijgt bruikbare kennis een waarde en wordt verhandelbaar.

Tegenwoordig worden de ontdekker en de uitvinder tot samenwerking gestimuleerd. Net als in het geval van de röntgenstraling, zijn de meeste ontdekkingen op den duur bruikbaar. Dus loont het als ontdekkers worden gestimuleerd over de toepassingen van hun ontdekkingen na te denken en niet alleen te publiceren maar ook te octrooieren. Als de Röntgens hun octrooien verkopen aan de Edisons, is dat in het belang van de wetenschap én de toepassing. Tenslotte is weten er niet voor de schappen.

Moore's wil is wet

Als het weer de tijd wordt van de jaarverslagen gaan die van vorig jaar bij het oud papier, behalve de verslagen van ASM International uit Bilthoven. Die bewaar ik sinds 1981, toen ik er adviseur werd en later commissaris. In 1981 was hun omzet honderd miljoen gulden en de winst zevenenhalf miljoen. Toen brachten de eerste aandelen ASMI in New York een bedrag op van ruim twintig miljoen dollar. In het jaarverslag van 1999 rapporteert ASM International een omzet van vierhonderdveertien miljoen euro en elf miljoen winst. Inmiddels is de totale beurswaarde van het bedrijf gestegen tot anderhalf miljard dollar. Dit zijn effecten van 'Moore's Law' in Bilthoven.

Na de uitvinding van de computerchip in 1961, stelde Gordon Moore zich ten doel iedere anderhalf jaar het aantal transistoren op de chip te verdubbelen. Omdat zijn bedrijf, het Amerikaanse Intel, dit nu al meer dan dertig jaar lukt, is 'Moore's Law' standaard geworden in de computerindustrie. Het gevolg is dat vanaf 1961 de prijs per transistor daalde met zes orders van grootte. Iedere volgende generatie computerchips is klaar na anderhalf jaar, kost ongeveer zoveel als z'n voorganger maar heeft dubbele rekencapaciteit. Daarom dringen chips steeds verder door in onze maatschappij, eerst in de computer, toen in de tv en nu in de zaktelefoon en andere consumentenproducten. Als u een computer heeft, tien tegen één dat er een pentiumchip in zit. Die pentium wordt gemaakt door Intel, maar daarvóór is die chip

door een apparaat gegaan van ASM International. Dus geldt 'Moore's Law' ook in Bilthoven.

Het is een harde leerschool geweest. De jaarverslagen uit de jaren tachtig vertellen nog van ASM's ambities om wereldwijd complete fabrieken voor de productie van chips te gaan leveren. In Phoenix wordt geïnvesteerd en in Boston. ASM start als eerste Nederlandse onderneming een eigen fabriek in Japan. En ASM's dochteronderneming in Hongkong krijgt er twee fabrieken bij: één in Singapore en één in China. De belangrijkste investeringen worden natuurlijk in eigen land gedaan: in Bilthoven een R&D-centrum en in Veldhoven sticht men ASM Lytho samen met Philips.

Maar dan gaat er toch iets fout met de computerindustrie. Er ontstaat overcapaciteit in productie van chips, de prijzen zakken en er wordt verlies geleden. Alleen de financieel sterken blijven over. Weliswaar heeft ASM een flink eigen vermogen opgebouwd, maar de recessie duurt voort en de onderzoek- en ontwikkelprogramma's duren veel langer dan voorzien. Tevergeefs klopt ASM aan bij de banken en er moeten bedrijfsonderdelen worden verkocht. Maar hoe verkoop je technologie die nog niet marktrijp is? Gelukkig betaalt het Amerikaanse bedrijf Varian een mooi bedrag voor de activiteiten in Boston, maar ASM Lytho moet met verlies terug naar Philips. Het R&D-centrum in Bilthoven gaat dicht. Er moet verder worden gereorganiseerd in Japan en Phoenix. Na veel wikken en wegen wordt een schitterende fabriek in Gelderland verkocht. Ook wordt bijna de helft van de aandelen van het bedrijf in Hongkong naar de beurs gebracht. Met pijn in het hart want het is verliesfinanciering. Uiteindelijk blijven er maar drie zeer speciale technieken in handen van ASM International. Gelukkig blijken dat sterke troeven. De ontwikkelingen in Phoenix zijn zelfs zo succesvol dat ASM marktleider wordt in 'epitaxie'-apparatuur. Helaas is de octrooiportefeuille niet goed bewaakt en de concurrentie begint

een rechtszaak die volstrekt ongegrond is maar ASM handen, nee bakken met geld kost. Uiteindelijk moet tachtig miljoen dollar worden betaald om van die Amerikaanse juristen af te komen. Ook deze aderlating overleeft ASM en de productie wordt verplaatst van Phoenix naar Nederland.

Je leest dit soort verhalen wel eens in de krant maar je staat er meestal niet bij stil wat het betekent voor betrokkenen om te overleven in een markt waar Moore's wil wet is. De ambitieuze groei in onze economie genereert steeds weer overcapaciteit, die steeds opnieuw slachtoffers maakt. Ook ASM heeft zijn les geleerd en het jaarverslag 1999 getuigt daarvan. Van alle ambities uit de jaren tachtig is weinig meer over. We zijn een illusie armer maar enkele zorgvuldig gekoesterde speerpunten rijker. Deze technische hoogstandjes steken met kop en schouder boven de concurrentie uit en daar kan geen chipfabrikant meer omheen, ook niet de maker van de Pentium. Daarom is het zo jammer dat één aspect gemist wordt in het jaarverslag 1999: het geheime wapen van ASM waardoor het wist te overleven. In de jaren tachtig stond er in het jaarverslag steeds een foto van Arthur del Prado, de oprichter en baas van ASM International. Met een uiterst vriendelijk gezicht kijkt hij je aan, met een blik die verraadt wat hij wil, je ziet het aan de glinstering zijn ogen: Moore's wil is wet, maar Arthurs wil is winnen.

De moeder van alle weten

Als ik moet kiezen tussen een reisverslag van NASA's zoektocht naar buitenaards leven, of een beschrijving van de hardste botsingen met elementaire deeltjes in Genève, waar CERN-fysici op zoek zijn naar de oorsprong van massa, of een rapport over de economie van het Human Genome project, of een essay over de invloed van de evolutietheorie op onze tijd, dan kies ik voor Darwin. Waarom heeft een theorie die al anderhalve eeuw oud is nog zo'n grote aantrekkingskracht?

In het juli 2000-nummer van de *Scientific American* betoogt bioloog Ernst Mayr dat de evolutietheorie meer dan enige andere wetenschap ons wereldbeeld heeft veranderd. Ik denk niet dat de evolutionist uit Harvard overdrijft en ben er zelfs van overtuigd dat deze verandering nog volop aan de gang is. Sterker nog: ik geloof dat de evolutietheorie in de eenentwintigste eeuw de moeder zal zijn van alle weten. Ernst Mayr geeft zeven argumenten.

1. Evolutiebiologie is natuurlijke historie, een wetenschappelijk terrein waaraan zowel alfa- als bètadisciplines bijdragen. De 'twee culturen' van C.P. Snow werken er samen in plaats van elkaar te negeren of te beconcurreren.
2. Natuurlijke historie bestaat uit concepten, scenario's en modellen, in plaats van wetten, regels en experimenten zoals de exacte wetenschappen. Toch kunnen die concepten

en modellen worden geverifieerd aan de hand van historische en biologische gegevens.

3. De evolutietheorie verklaart een wereld zonder schepper, een ontwikkeling van de natuur zonder bovennatuurlijke krachten: een ontwikkeling die bepaald wordt door zowel willekeur (de mutaties) als voorkeur (natuurlijke selectie).
4. Geen twee van de zes miljard mensen zijn gelijk. Elk van ons is een uniek product van willekeurige variaties en natuurlijke selectie, waardoor een genetische basis voor racisme ten principale ontbreekt.
5. Natuurlijke selectie leidt in sociale groepen tot ethisch gedrag. Altruïsme bevordert de overlevingskansen van de groep, en ethologen hebben dat reeds bij verschillende diersoorten aangetoond.
6. De evolutie van de wereld verloopt niet volgens plan. Als de film van de evolutie zou worden teruggespoeld en opnieuw afgespeeld, is het allesbehalve zeker dat de mens weer tevoorschijn komt.
7. De toekomstige ontwikkelingen van het leven op aarde worden niet alleen door fysische of chemische krachten en wetmatigheden – mechanistisch – bepaald. De toekomst ontstaat uit pure willekeur én uit keuzes die wij zelf in vrijheid kunnen maken.

Wie Mayrs lijst van argumenten overziet moet toegeven dat hier inderdaad sprake is van een synthese tussen exacte wetenschappen en humaniora. Uitgebreid met dimensies als willekeur en keuzevrijheid reikt ook het denken over de natuur veel verder dan in de tijd voor Darwin. En dat had en heeft immense consequenties voor ons wereld- én zelfbeeld: evolutie betekende op gebieden als ethiek en religie niets minder dan revolutie en ik geloof dat die omwenteling niet tot stilstand komt zolang er nog enkele fundamentele vragen onbeantwoord blijven.

De evolutietheorie bracht een duidelijk onderscheid tussen dode en levende materie. De eerste volgt de wetten van de natuur- en scheikunde en haar toekomst is daardoor in principe voorspelbaar. De tweede evolueert door verandering in omstandigheden, willekeurige variatie en natuurlijke selectie; waardoor de mutatie die het best op de verandering is toegesneden overleeft, terwijl andere varianten doodlopen. Maar één mysterie blijft: hoe kan levende materie ontstaan uit dode?

Voorzover we nu weten is het universum vijftien miljard jaar oud. De aarde werd vrijwel tegelijk gevormd met de zon en de andere planeten en dat gebeurde zo'n vijf miljard jaar geleden. De eerste vormen van leven dateren van drieënhalf miljard jaar terug. Volgens de evolutietheorie zijn er vanuit eencelligen steeds complexer vormen van leven ontstaan, tot en met zulke complexe organismen als de mens. Misschien zullen taxonomie en genetica de volledige evolutie met al haar vertakkingen ooit op een tijdas weten te zetten, maar vooralsnog blijft het knagen. Want kan dat wel, in een luttele drieënhalf miljard jaar, van eencellige tot die huidige, immense verscheidenheid aan complexe organismen? Was dat wel voldoende tijd om ons langs natuurlijke weg voort te brengen?

Een mechanisme dat verantwoordelijk is voor het ontstaan van zulke complexe organismen als de mens, met zijn hersenen en gedrag, met zijn cultuur, dat mechanisme moet ook thans nog werkzaam zijn. Hoe merken we dat? Is onze geestelijke ontwikkeling, is onze politieke en sociale evolutie ook het product van willekeur en voorkeur? In de samenleving wordt voortdurend geëxperimenteerd met nieuwe, andere vormen van samenleven. Is hier ook het mechanisme van natuurlijke selectie werkzaam die maakt dat het ene experiment succes heeft en het andere niet?

In de evolutietheorie komen de meest fundamentele vragen van deze tijd naar voren. Daarmee wordt zij op de drempel van de eenentwintigste eeuw de moeder van alle weten.

Over verschijnselen

Een timmermansoog

Goede onderzoekers stellen de goede vragen. Zij verknoeien hun tijd niet met problemen die reeds opgelost zijn. Zij laten zich evenmin verleiden door de romantiek van de onbeantwoordbare vragen. Goede onderzoekers hebben er kijk op. Zij weten welke vragen oplosbaar zijn, zij hebben daarvoor een timmermansoog.

Onze wetenschappelijke kennis kan men opvatten als een wijdvertakt netwerk. De goede onderzoeker weet de klitten te vinden, ze van hun omgeving te isoleren en alle belangrijke draden in handen te krijgen om de knoop te ontwarren zodat het verband met de omgeving duidelijk wordt. Het is geen kunst om draden die niet (meer) in de knoop zitten te ontwarren. Het is niet productief om aan Gordiaanse knopen te werken, of op plaatsen te gaan zoeken waar nog geen enkel stukje ontward is. Goede onderzoekers doen grensverleggend onderzoek. Aan het gedeelte van het netwerk dat wij reeds kennen voegen zij een stukje toe.

Meestal is het maar een heel klein en onbetekenend knoopje dat zij ontwarren. Soms bevindt zo'n knoop zich op de grens van een heel nieuw vakgebied en kan er plotsklaps een groot stuk aan onze kennis worden toegevoegd. Zo ontstond uit de spectroscopie de atoomfysica en daaruit de kernfysica en daaruit weer de elementairedeeltjesfysica. Soms gaan de ontwikkelingen in één richting zo ver dat het tijd wordt andere klitten el-

ders in het netwerk te ontwarren. Zo beleven wij thans in de natuurkunde, na de studie van het allerkleinste (de elementaire deeltjes) en die van het allergrootste (de oerknal) een opleving in de studie van het meest complexe. De verklaring van het gedrag van macromoleculaire systemen, zoals polymeren, vloeibare kristallen en colloïden maakt een snelle ontwikkeling door, sinds onderzoekers het aandurven om de gedetailleerde moleculaire structuur te vergeten en op andere parameters, zoals globale vorm en flexibiliteit, te letten. Zo heeft men de draden in handen gekregen waarmee de knopen in complexe vloeistoffen ontward kunnen worden.

Soms gaan de koersveranderingen systematisch en geleidelijk, soms schoksgewijs. Denk maar aan de ontdekking van supergeleiding bij hoge temperatuur. Tachtig jaar gebeurt er weinig en de meeste onderzoekers hebben het vakgebied al verlaten, dan komt iemand op het idee om het eens te proberen met oxiden in plaats van metalen en plotseling is de voortgang enorm.

Hoe ontstaat nu zo'n nieuw idee? Dat creatieve moment bij die ene onderzoeker, dat timmermansoog dat plotseling ziet hoe het moet, hoe werkt dat? Voor elke onderzoeker die wel eens de goede vraag heeft gesteld en van moeder natuur plotseling antwoord kreeg, is het een brandende kwestie waar die goede vraag precies vandaan kwam. Zelf heb ik lang geloofd dat de vraag naar de oorsprong van creativiteit een fascinerende maar onbeantwoordbare vraag is, net als die andere onbeantwoordbare vragen (naar de oorsprong van de oerknal of van het leven). Onze hersenen kunnen toch niet zichzelf begrijpen? Maar bij Dick Hillenius las ik: 'Zo goed als ik in de spiegel naar mijn eigen ogen kan kijken, zo goed kan ik met mijn eigen hersens over mijn hersens denken.'

Een idee vond Dick het belangrijkste wat je van tijd tot tijd kunt veroveren. 'Natuurlijk niet een platonisch idee – een door onwillige zintuigen noodgedwongen oppervlakkig beeld van de

werkelijkheid –, maar, integendeel, een door de botsing van zo scherp en zo uiteenlopend mogelijke zintuigindrukken ontstane flits, een verbinding van zaken die tevoren nooit verbonden waren.' Dick Hillenius dacht dat het ideeën krijgen zo gaat: 'Net zolang de zintuigen laten zwelgen in de gegevens van de werkelijkheid tot de aangeboren patronen gewekt worden.' De aangeboren patronen zijn het resultaat van drieduizend miljoen jaar evolutie van het leven op aarde dat geleid heeft tot de hersenen waarmee wij het moeten doen. 'Dit zou ook kunnen verklaren waarom soms goede ideeën gebouwd werden op geen, te weinig of zelfs verkeerde feiten. We zijn dus zeker geen passieve camera obscura. Wat er aan beelden binnenkomt wordt geconfronteerd met alles wat we zelf hebben geleerd en met alles wat in drie miljard jaar natuurlijke selectie aan kennis, aan programma, in onze computer is aangebracht.'

Een goed idee is nooit weg. Het kan in vergetelheid raken, wanneer het idee is ontstaan bij iemand die zijn tijd ver vooruit is, maar vroeg of laat komt het toch weer boven. De poëzie gaat aan de wetenschap vooraf. De computer, de metafoor van onze dichter/bioloog, speelt een hoofdrol bij Daniel C. Dennett in diens boek *Consciousness Explained*.

Om te beginnen herinnert Dennett ons er nog eens aan dat ons bewustzijn tot de fysische werkelijkheid behoort en niet als een ziel daarboven zweeft. Wij beïnvloeden immers die fysische werkelijkheid en dus moet ons verstand aan diezelfde fysische wetten voldoen, er deel van uitmaken, anders kan het niet. Onze geest kan niet ons lichaam besturen zonder dat het energie kost, het is geen perpetuum mobile. Lichaam en geest voldoen beide aan de wet van behoud van energie. Onze geest is dus niet iets anders of hogers, maar wat is onze geest, ons bewustzijn, dan wel?

Dennett vergelijkt de werking van ons verstand met die van een computer. Beide bestaan uit elementen die signalen verwerken en opslaan. De meeste computers zijn zo geprogrammeerd

dat er keuze is uit verschillende menu's: tekstverwerking, rekenen, tekenen, spelen, etc. Door verschillende keuzes te maken lijkt het net of we aan het werk zijn met zeer verschillende machines: een typemachine, een rekenmachine, een tekenbord of een speeltuig. Toch zijn we nog steeds op dezelfde computer bezig, maar steeds in verschillende gedeelten van de programmatuur. Men kan ons bewustzijn vergelijken met net zo'n programmatuur, maar dan in onze hersenen. De programmering maakt zeer verschillende functies mogelijk met onze hersencellen. De functies zijn deels afhankelijk van de hardware, de hersencellen die vooral genetisch bepaald zijn, en deels afhankelijk van de software, de verschillende menu's in het programma, die ons vooral zijn aangeleerd.

Net zoals een programma van de ene computer naar de andere kan worden overgezet, zo is het mogelijk de software van onze eigen hersenen over te dragen naar die van een ander. In deze zin blijft ons bewustzijn in principe voortbestaan na onze dood, in onze kinderen, in onze leerlingen, in onze collega's, in de generatie die na ons komt en die wij mede hebben opgevoed.

Terug naar de nog onbeantwoorde vraag: hoe ontstaat een goed idee? Sommige wetenschappers zweren bij een soort Dorknopergebruik van computers, waarmee vragen beantwoord kunnen worden van het soort: wat is de stof met de grootste treksterkte, of het sterkste magneetveld, of het hardste oppervlak? Zulke 'expertsystemen' weten alles wat je altijd had willen weten maar niet durfde vragen omdat je bang was voor dom te worden versleten. Dergelijke computers hebben een superieur geheugen en zij weten daardoor precies wat er allemaal niet meer onderzocht hoeft te worden. Zij zijn een meester in het beantwoorden van reeds beantwoorde vragen. Heel nuttig, maar zij hebben nooit een goed idee.

Computersimulaties zijn een hele andere manier om van de mogelijkheden van de computer gebruik te maken (zie Frenkel,

De Gids, 1991). In principe kunnen we in de computer iedere modelwereld scheppen die we willen. In de praktijk betekent dit, dat we een model bedenken voor het systeem dat we willen bestuderen: bijvoorbeeld een stromende vloeistof, of de atmosfeer van de aarde, of zelfs het hele universum. Daarna vertellen wij aan de computer hoe de natuurwetten eruitzien. Niet de grondwet, maar de wet die van toepassing is op de verschijnselen die we willen bekijken. En dan zeggen we tegen de computer: 'Oké, dit zijn de spelregels, reken nu maar uit wat er gaat gebeuren.' En daarna gaan we gewoon zitten kijken wat er gebeurt met onze schepping. Men kan zich voorstellen dat het in de hersenen van een onderzoeker ook zo gaat: het zo precies mogelijk aflezen van de zintuigafdrukken, het zo goed mogelijk verwerken ervan, het wakker houden van de herinneringen en ervaringen, het bewust worden van zo veel mogelijk zaken die in de drieduizend miljoen jaar van de geschiedenis van het leven op aarde toegang hebben gekregen om het leven mogelijk te maken. Daarvan een model maken en dan met onze hersenen kijken naar onze hersenen, zo krijg je als onderzoeker toch een timmermansoog?

Vacuüm is niet niks

Zelfs met de modernste technieken kunnen nog steeds niet alle atomen en moleculen uit een ruimte worden weggepompt. Bovendien is, volgens de moderne fysica, het vacuüm tussen en binnen in de atomen niet echt leeg. Wat is vacuüm dan wel?

Waarschijnlijk werd vacuüm voor het eerst zichtbaar gemaakt door Torricelli. Hij vulde een glazen buis van een meter lengte met kwik en zette hem voorzichtig omgekeerd in een bak. Het kwik zakte en boven in de buis ontstond een lege ruimte, het vacuüm. Het kwik zakte niet helemaal uit de buis. Er bleef een kolom van 76 centimeter kwik staan. Deze werd door de luchtdruk omhoog gehouden. Wij kennen dit effect ook van de afwas. Als we een glas omgekeerd uit de afwasbak trekken, hoe groot en hoog het glas ook is, dan houdt de luchtdruk het afwaswater altijd in het glas omhoog. Wij realiseren ons meestal niet hoe groot de luchtdruk is. Daarom deed Otto von Guericke de proef met de Maagdenburger halve bollen, die zestien paarden niet uit elkaar konden trekken nadat de lucht er tussenuit was gepompt. De luchtdruk op een vierkante meter vertegenwoordigt een gewicht van 10.000 kilogram. Daar merken wij niets van tot er ergens vacuüm is, zoals de vacuümverpakte koffie. De koffie wordt in elkaar gedrukt omdat er in de verpakking geen tegendruk meer is.

Boven in de buis van Torricelli, binnen in de Maagdenburger halve bollen en in het pak vacuümverse koffie, is de druk niet

nul. Er zijn nog steeds zeer veel atomen en moleculen in het vacuüm aanwezig. In de Maagdenburger halve bollen zaten na het leegpompen zeker nog 1% van alle moleculen, of 10exp17 moleculen per kubieke centimeter. Tegenwoordig noemen we dat voorvacuüm, in tegenstelling tot hoogvacuüm, waarin de dichtheid van moleculen nog altijd 10exp10 per kubieke centimeter is. Voor industriële toepassingen is voorvacuüm meestal genoeg. Men moet dan niet alleen denken aan de verpakkingsindustrie maar ook en vooral aan de hoogwaardige technologie. Zoals de micro-elektronica, waar dunne lagen van zeer zuivere materialen in vacuüm worden aangebracht bij het vervaardigen van chips. Of in de metaalindustrie, waar gereedschapsstaal wordt gehard en van een coating voorzien in vacuümovens. Ook in de chemische technologie wordt vacuüm steeds belangrijker omdat men met zeer zuivere materialen wil werken. Het grootste vacuümsysteem van ons land staat in Almelo bij Ultra Centrifuge Nederland, waar uranium verrijkt wordt in een cascade van gascentrifuges. Hoewel hier sprake is van vacuüm, worden er in feite gigantische hoeveelheden gas verwerkt. Bij UCN waait het in het vacuüm, het is er allerminst leeg.

Hoogvacuüm wordt gebruikt in wetenschappelijk onderzoek. Met moderne analysetechnieken kunnen de samenstelling en de structuur van stoffen op atomaire schaal zichtbaar gemaakt worden, maar dan moeten vreemde moleculen, zoals lucht en waterdamp, niet in de weg zitten. In elektronenmicroscopen, massaspectrometers en andere meetinstrumenten wordt daarom steeds beter vacuüm toegepast. De meest extreme eisen worden gesteld aan het vacuüm van moderne deeltjesversnellers die gebruikt worden bij de hoge-energiefysica. In Genève is onder de grond een vacuümbuis aangelegd met een lengte van zevenentwintig kilometer. De deeltjes die daarin worden versneld mogen onderweg niet botsen met atomen in het vacuüm. Daarom wordt de tunnel continu op ultrahoogvacuüm (dus

ultralage druk) gehouden.

De beste pompen zijn eigenlijk vrieskasten, ze werken bij lage temperatuur en vriezen de meeste atomen en moleculen uit de lucht vast, maar niet alle. Een cryopomp met een temperatuur van -200 °C is uitstekend geschikt als waterpomp, bij -250 °C worden alle gassen vastgevroren behalve neon, helium en waterstof. Om de heliumdampdruk beneden 1 atmosfeer te krijgen moet de temperatuur nog verder omlaag tot vlak bij het absolute nulpunt. Daarom wordt aan een ultrahoogvacuümsysteem altijd gepompt door verschillende typen pompen. Voor het wegpompen van edelgassen worden mechanische pompen of ionisatiepompen gebruikt naast cryopompen.

Het beste vacuüm dat op deze manier op aarde gemaakt kan worden is echter nog steeds niet leeg. Men moet rekening houden met de aanwezigheid van zeker duizend atomen en moleculen per kubieke centimeter. Er moet een heleboel ruimte zijn tussen die atomen. Is die ruimte leeg? En buiten onze dampkring, in het heelal, daar zijn ongetwijfeld plekken waar hooguit een waterstofatoom te vinden is per kubieke meter. Is de ruimte tussen die waterstofatomen dan eindelijk echt vacuüm en is dat vacuüm leeg?

Volgens Einstein is materie slechts een vorm van energie. Als we een ruimte leeghalen door alle materie weg te pompen en we zouden energie, in welke vorm dan ook, achterlaten, dan kan die in een later stadium weer als materie tevoorschijn komen. Met andere woorden: waar energie is, is het vacuüm niet leeg.

In de moderne fysica gaat men nog een stap verder en veronderstelt men dat het vacuüm gevuld is met oneindig veel elektronen en positronen (de antideeltjes van elektronen, met dezelfde massa maar positief geladen). Deze veronderstelling was nodig teneinde de relativiteitstheorie en de kwantummechanica met elkaar in harmonie te brengen. Hoewel de aanwezigheid van oneindig veel deeltjes intuïtief in strijd lijkt met vacuüm,

zijn recente experimenten hiermee toch in overeenstemming. Een paar voorbeelden: een atoom in een zee van elektronen en positronen zal zich anders gedragen dan een atoom in een ruimte die leeg is. Vlak bij de positieve kern van het atoom zullen de negatief geladen elektronen uit het vacuüm worden aangetrokken en de positronen juist worden afgestoten. Deze polarisatie moet een effect hebben op de elektronen van het atoom zelf, hetgeen inderdaad wordt waargenomen. Vlak bij de kern voelen de elektronen de vacuümpolarisatie en krijgen daardoor net iets meer energie dan in de vrije ruimte. Met behulp van de moderne spectroscopische instrumenten is dit energieverschil gemeten.

Men kan zich ook afvragen of de elektronen en positronen in het vacuüm helemaal van elkaar gescheiden kunnen worden en apart gedetecteerd. In experimenten waarbij twee zware atoomkernen zo hard op elkaar geschoten worden dat de kernwanden elkaar raken, is de elektrische veldsterkte ter plaatse meer dan genoeg om positronen vrij te maken. Bij deze experimenten worden inderdaad positronen waargenomen.

In een lege ruimte zullen twee lichtstralen elkaar ongehinderd passeren, maar in een zee van elektronen en positronen zal het licht, mits het sterk genoeg is, de verdeling van positieve en negatieve lading in de ruimte beïnvloeden. Twee intense laserstralen zullen dan door elkaars vacuümpolarisatie worden verstrooid. Dit effect is al lang geleden voorspeld maar kon bij gebrek aan lichtintensiteit tot nu toe niet worden waargenomen. Op verscheidene plaatsen in de wereld, ook in ons land, hoopt men binnenkort laserlicht te hebben van voldoende intensiteit om een botsing van licht met vacuüm waar te nemen.

Het luchtledige, daar kan ik mij iets bij voorstellen, dan denk ik aan de buis van Torricelli en aan de halve bollen met de zestien paarden, maar een vacuüm gevuld met oneindig veel elektronen en positronen, daar begrijp ik eerlijk gezegd niets van. Mis-

schien is het alleen een kwestie van wennen, want zien is geloven. Dat moesten de inwoners van Maagdenburg ook.

Vacuumvideo's

Wat is de overeenkomst tussen Nederland en een ultrahoogvacuümsysteem? Met dit raadseltje opende de voorzitter van de Nederlandse Vacuümvereniging het twaalfde Internationale Vacuüm Congres. De twaalfhonderd experts uit vijftig verschillende landen, bijeengekomen in het Haagse Congrescentrum, hoefden niet lang te raden. Op het projectiescherm verscheen een dia van het monumentale gemaal de Cruquius en de voorzitter zei: aan Nederland en aan een ultrahoogvacuümsysteem moet voortdurend gepompt worden om het in stand te houden.

Deze vergelijking was niet zo vergezocht als hij op het eerste gezicht misschien lijkt. De eerste vacuümpomp, gebouwd in het midden van de zeventiende eeuw door Von Guericke uit Maagdenburg, was niets anders dan een omgekeerde waterpomp zoals door de brandweer gebruikt werd in die tijd. Boyle en Hooke bouwden hun versie van de vacuümpomp in 1658-1659 in Engeland en Christiaan Huygens volgde in 1661 in Holland, met een eigen ontwerp maar volgens hetzelfde eenvoudige principe: het isoleren van een hoeveelheid lucht en het verwijderen ervan. De vacuümpomp werd een van de vier belangrijke nieuwe fysische instrumenten uit de zeventiende eeuw, de andere zijn de microscoop, de telescoop en de pendule.

In hun congrestas in Den Haag vonden de deelnemers een verrassing: *Adventures in Vacuums*, een boekje in opdracht van de congresorganisatie geschreven door dr. M. J. Sparnaay en uit-

gegeven bij Elsevier. Hierin worden zeventien verschillende proeven met vacuüm beschreven die alle in de zeventiende eeuw werden gedaan. Een reuzenidee, want nu kunnen de natuurkundige vragen en experimenten met vacuüm uit het verleden vergeleken worden met die van vandaag.

In de zeventiende eeuw dachten veel geleerden dat het kwik in de buis van Torricelli blijft staan omdat de natuur het vacuüm zozeer verafschuwt dat zij zich verzet tegen het ontstaan van vacuüm boven in de buis. Deze 'horror vacui' zou het kwik in de buis omhoog houden. Pas toen Pascal de proeven van Torricelli gereproduceerd had en ook nog op de top van de Puy de Dome een lagere kwikkolom werd waargenomen dan onder aan de berg, wilde men geloven dat het kwik in de buis omhoog gedrukt wordt door de luchtdruk. Thans wordt Pascal geëerd doordat de eenheid van druk naar hem vernoemd is (1 atmosfeer is ongeveer 100.000 Pa).

Met de buis van Torricelli en met de eerste vacuümpompen werden spectaculaire demonstraties gegeven. Proeven die vooral bedoeld waren om het vacuüm zelf te bestuderen en om de eerste metingen te doen van de luchtdruk, waarbij ook reeds de invloed van het weer op de gemeten luchtdruk ontdekt werd. Barometers werden al voor het eind van de zeventiende eeuw commercieel verkrijgbaar. De wet van Boyle (voor een bepaalde hoeveelheid gas blijft het product van druk en volume constant, mits de temperatuur niet verandert) stamt uit die tijd. De proef met de Maagdenburger halve bollen maakte duidelijk dat paardenkrachten verborgen lagen in de atmosfeer. Huygens stelde voor die te mobiliseren ter verlichting van menselijke arbeid en hij ontwierp een explosiemotor waarmee gewichten konden worden opgetild. Chemische en biologische proeven toonden aan dat een kaars uitgaat en planten en kleine dieren het niet overleven als ze onder een klok worden geplaatst die daarna wordt leeggepompt. Ook experimenteerde men met de voort-

planting van licht, geluid en warmte in vacuüm en met elektriciteit en zwaartekracht. De meeste proeven werden in het openbaar gedaan of voor collegae op de speciaal voor dit doel opgerichte academies voor wetenschappen. Dit was de begintijd van de proefondervindelijke wetenschap. Het was niet altijd ongevaarlijk. In de Academie van Parijs evacueerde Huygens een glazen cylinder achtmaal zonder dat hij brak, maar een vierkante glazen stolp brak al na de vierde keer en stukken glas vlogen meters door de zaal.

Na een aanvankelijke bloeiperiode tot in het begin van de achttiende eeuw is er honderd jaar weinig opzienbarends te melden over het onderzoek met vacuüm. Wel werden er veel proeven in het openbaar gedaan, maar het ging steeds vaker om het spektakel in plaats van om het oplossen van een wetenschappelijke vraag. De vragen die gesteld werden, daarvan kon men niet verwachten een oplossing te vinden: wat is het wezen van de zwaartekracht, van warmte, koude, magneten, licht en kleur, wat is de samenstelling van lucht, water en vuur? Men vroeg zich af waarom dieren ademen en hoe metalen, stenen en planten groeien? In deze periode van honderd jaar bleef men nog steeds vacuümpompen gebruiken die volgens hetzelfde principe werkten als de pompen uit de zeventiende eeuw. Daarom kon men geen beter vacuüm bereiken dan 100 Pa. Pas in het midden van de negentiende eeuw werden nieuwe typen kwikpompen ontwikkeld waarmee een druk van 0,001 Pa bereikbaar werd. Dit maakte de weg vrij voor de ontwikkeling van de gloeilamp in 1879 en de ontdekking van het elektron in 1897.

Op de conferentie in Den Haag werden vacuümsystemen gepresenteerd die zo goed als leeg zijn. Men kan er één atoom of één elektron in opslaan en ze ongestoord uren blijven bestuderen. Om zo'n ultrahoogvacuüm te bereiken zijn er nieuwe cryopompen ontwikkeld die vrijwel alle atomen en moleculen vastvriezen op een koude plek in de pomp. Het vacuümsysteem

moet gebouwd worden van hele nieuwe materialen die weinig ontgassen en er moet zeer gevoelige meetapparatuur beschikbaar zijn om de enkele atomen en moleculen die nog in het vacuüm aanwezig zijn te herkennen.

De ontwikkeling van ultrahoog vacuüm is vooral gestimuleerd door de micro-elektronica. De verdere miniaturisering maakt het noodzakelijk om alle processtappen bij het maken van de chip in een superschone omgeving, dat wil zeggen in een ultrahoogvacuümsysteem, uit te voeren. Met bundels atomen en moleculen in ultrahoogvacuüm worden de nieuwste elektronische schakelingen atoom voor atoom opgebouwd. Met bundels snelle deeltjes worden de elektrische en optische eigenschappen van de atoomlagen naar believen aangepast. Door atoom voor atoom uit een oppervlak weg te schieten worden er minuscule gaatjes geëtst en ook worden deze weer gevuld met andere atomen. Zo werken de moderne fysici, chemici en ingenieurs samen bij het vervaardigen van ultrasnelle elektronica, miniatuur lasers, micromotoren, kunstmatige diamantlaagjes en magnetische materialen van enkele atomen dik voor de opslag van informatie.

De micro-elektronica stimuleert niet alleen de onderwerpen van onderzoek maar ook de wijze van presenteren. In elke zaal van het congrescentrum in Den Haag werden video's vertoond waarop men de beelden kon zien die met de moderne microscopen kunnen worden gemaakt van de beweging van moleculen in chemische reacties, of het stapelen van atomen bij de bouw van nieuwe schakelingen, of het wegschieten van atomen bij het etsen van gaatjes in een oppervlak, of het schrijven van nullen en enen in enkele atoomlagen magnetisch materiaal. De congreszalen van vandaag zijn de academies van vroeger, waar de geleerden hun proeven doen terwijl de vakgenoten er met hun neus bovenop staan.

Leve het elektron

Onlangs vierden wij de honderdste verjaardag van het elektron. Volgens sommigen viel de geboorte samen met de oerknal, vijftien miljard jaar geleden, maar wij fysici kennen het elektron pas sinds de experimenten met kathodestraalbuizen van J.J. Thompson. In 1895 toonde hij aan dat in wat wij tegenwoordig een tv-buis zouden noemen een stroom deeltjes loopt, van de negatieve kant (de kathode) naar de positieve.

Thompson bepaalde hun lading en massa en doopte deze dragers van elektrische stroom 'elektronen'. Deze experimenten toonden niet aan dat alle elektronen identiek zijn en sommige anti-atomistische fysici hielden vol dat het elektron geen uniek deeltje is en de gemeten lading slechts een gemiddelde waarde vertegenwoordigde. Daarop deed Millikan experimenten met druppeltjes olie die hij van een lading voorzag en in een elektrisch veld liet zweven. Zo kon hij vaststellen dat de druppeltjes steeds geladen waren met een geheel aantal malen (twee keer, drie keer, vier keer) de lading van Thompsons elektron. Door een rooster in de elektronenbuis aan te brengen kon Lee De Forest de elektronenstroom regelen en zelfs versterken. Dit leidde tot de geboorte van de moderne elektronica en de ontwikkeling van radio, tv, radar, rekenmachine, elektronenmicroscoop, et cetera.

Toen iedereen ervan overtuigd was dat het elektron een deeltje was, een fundamentele bouwsteen der natuur, strooide de

atoomfysica roet in het eten. Om het gedrag van het elektron in het atoom te verklaren moest men aannemen dat het geen deeltje is maar een golf. Het bewijs voor het golfkarakter van het elektron werd geleverd door Davisson en Germer, die elektronen verstrooiden aan een nikkelkristal en dezelfde interferentieringen konden waarnemen als bij de diffractie van röntgenstralen. Toch is het vreemd dat in het ene experiment het elektron zich gedraagt als een deeltje en in het andere als een golf. Het werd nog vreemder, want het elektron bleek te roteren om zijn eigen as waardoor het in een magneetveld rechtop kan staan of op z'n kop. Ook werd voorspeld en gevonden dat het elektron een antideeltje heeft, een positron, met dezelfde massa als het elektron maar positief geladen. Als een elektron botst met een positron verdwijnen beide en blijft er slechts een lichtflits over.

Het beeld dat wij thans hebben van het atoom bestaat uit een positieve kern met een wolk negatief geladen elektronen daaromheen. De kern bepaalt slechts de massa van een stof en de positieve lading trekt de negatieve elektronen naar een bepaalde plaats in een stof. Vrijwel alle andere eigenschappen van materie worden door de elektronen bepaald, niet door de kern. Of een stof hard is of zacht, gasvormig, vloeibaar of vast, blauw, geel of rood, een isolator of een geleider, wat de structuur is van de materie om ons heen wordt door de elektronen bepaald. Het is de droom van de atoomfysici om het gedrag van de elektronen zo goed te kennen dat op basis daarvan alle mogelijke macroscopische eigenschappen van materie verklaard worden. Atoomfysici zijn dus eigenlijk elektronenfysici en geen kerngeleerden.

In 1948 leerden fysici van AT&T Bell Labs het gedrag van elektronen in een kristal net zo goed beheersen als in de elektronenbuis van Lee De Forest. Zij bouwden een miniatuurelektronenbuis, de transistor, waaruit de micro-elektronica, een compleet nieuwe industrie, zou ontstaan. Thans domineert de micro-elektronica de moderne technologie. Geen enkele industrie is zo

innovatief en besteedt zoveel geld aan research en ontwikkeling als de micro-elektronica. Geen wonder, want de transistor, computer, radio, tv, telefoon, radar, cd, magnetron, supergeleider, zonnecel, video, walkman, diskman, autotelefoon, email, fax en alle mogelijke medische en wetenschappelijke apparaten en technieken kun je niet als olie uit de grond halen. Ze zijn allemaal ontwikkeld in de researchlaboratoria van de elektronische industrie. Op dit moment is deze industrie al net zo groot als de hele autobranche. Over tien jaar zal de omzet in micro-elektronica over de hele wereld gelijk zijn aan die van de olie- of de chemische industrie.

Op het eeuwfeest van het elektron liet Philips zijn nieuwste vinding zien: de high definition television. Er waren echter ook enkele verrassingen uit het wetenschappelijk onderzoek in Nederland te bewonderen. In een samenwerking tussen Philips en de Technische Universiteit Delft is ontdekt dat het transport van elektronen door een nauwe opening gekwantiseerd is. Als het kanaaltje waar de elektronen door moeten heel nauw is, ter grootte van de golflengte van de elektronen, zal er interferentie optreden. Maakt men het kanaaltje een klein beetje breder, dan kunnen er niet meteen meer elektronen door. Pas wanneer de breedte gelijk is aan een geheel aantal malen de golflengte van de elektronen, neemt de stroom sprongsgewijs toe. De vinding kan leiden tot een nieuwe klasse elektronische schakelingen, gebaseerd op het golfkarakter van elektronen. Dezelfde groep in Delft heeft ook een soort draaideur voor individuele elektronen ontwikkeld. In een speciale schakeling worden elektronen, alsof het deeltjes zijn, een voor een doorgegeven van de ene plaats in de schakeling naar de andere. Het FOM Instituut in Nieuwegein demonstreerde zijn 'Free Electron Laser', een versneller waarin elektronen door een sterk wisselend magneetveld worden gejaagd zodat afstembare laserstraling in het infrarood wordt opgewekt. Het Nationale Instituut voor Kern en Hoge Energie Fy-

sica in Amsterdam toonde een 900 MeV elektronenversneller, een soort elektronenmicroscoop voor atoomkernen, waarmee het gedrag van quarks in verschillende atoomkernen met elkaar vergeleken wordt. Bij het FOM Instituut voor Atoom- en Molecuulfysica ziet men elektronen rondom de kern vliegen binnen in het atoom.

Het eeuwfeest van het elektron werd ruw verstoord door een nieuwe meting van de Amerikaanse Nobelprijswinnaar Dehmelt. Terwijl iedereen 'weet' dat het elektron oneindig klein is, is Dehmelt op zoek naar de straal van het elektron. Hij heeft een val gebouwd waarin hij het deeltje kan opsluiten en rustig voor lange tijd bestuderen. Voorlopige meetresultaten laten zien dat de magnetische eigenschappen van het elektron afwijken van de theorie voor een oneindig klein deeltje. Hieruit concludeert hij dat het elektron een straal zou kunnen hebben ter grootte van 1/100.000.000.000.000.000.000 cm.

Ook al is het elektron nog zo klein, waarvan zou het gemaakt zijn? Hoe is het mogelijk dat het zich als deeltje en als golf kan gedragen? Hoe kan het elektron wel massa hebben maar geen grootte? Is het antideeltje, het positron, net zo groot of klein? Hoe kunnen ze elkaar annihileren tot een lichtflits terwijl ze allebei uit materie bestaan? Dit zijn vragen voor de eenentwintigste eeuw. Zonder de antwoorden te kennen is de micro-elektronica van de twintigste eeuw ontstaan. Het is toch gek dat onze moderne technologie zo afhankelijk is van het elektron terwijl wij niet eens weten hoe groot het deeltje is.

De onzichtbare hand

Sommige geleerden doen grandioze experimenten met deeltjesversnellers of kunstmanen en honderden medewerkers. Hun ontdekkingen prijken in kapitalen op de voorpagina. Andere onderzoekers ontdekken in hun eentje, door heel goed naar de details te kijken, een wereld in een atoom en een straaltje licht. Ook zij verdienen net als Koos van Zomeren een plaatsje links onderaan op de voorpagina. Zij kunnen met licht een atoom afremmen en stilzetten zodat het met het blote oog te zien is. Zij kunnen van het atoom een knipperlicht maken dat op willekeurige tijden aan- en uitgaat. Ogenschijnlijk is dat niet erg opzienbarend, toch had professor Gerard Nienhuis dit gekozen voor zijn eerste college aan de Rijksuniversiteit Leiden. Hij wist zijn gehoor een uur lang te boeien, want tijdens zijn college veranderde het onooglijk straaltje licht en dat ene knipperende atoom in een fascinerende wereld van vreemde verschijnselen uit de moderne fysica.

In een gas bij normale temperaturen hebben atomen of moleculen snelheden van honderden meters per seconde ofwel duizenden kilometers per uur en het is niet eenvoudig om een van die atomen gedurende langere tijd waar te nemen. Met laserlicht kunnen ze worden stilgezet. Als een atoom een foton van de laser invangt en het in een andere richting weer uitzendt, verandert de impuls, de beweging, van het foton. Omdat de totale impuls net als de totale energie niet kan veranderen, moet het

atoom de impulsverandering van het licht compenseren, zodat de snelheid van het atoom verandert. Het foton stuit af op het atoom en het atoom ondervindt daarvan een terugstoot, zoals het hoofd van een voetballer bij een kopbal. Onder alledaagse omstandigheden is de kracht die het licht uitoefent te gering om waar te kunnen nemen, maar goedgekozen experimenten laten een verrassend groot effect zien.

Als we een bundel natriumatomen laten lopen in een richting die tegengesteld is aan een laserbundel met de juiste golflengte, dan worden de natriumatomen afgeremd. De snelheidsvermindering bij elke absorptie van een foton zal slechts drie centimeter per seconde bedragen, ofwel honderd meter per uur. Dat is niet veel, maar omdat de cyclus van absorptie en emissie per seconde wel driehonderd miljoen maal herhaald kan worden, is de vertraging die het atoom ondervindt toch aanzienlijk. Als het natriumatoom de lichtbundel treft met een normale snelheid van tweeduizend kilometer per uur dan staat het al na een halve seconde stil, hetgeen overeenkomt met een remweg van minder dan twintig centimeter. In een kleine laboratoriumopstelling is dat goed te realiseren.

Wij kunnen met licht niet alleen een atoom afremmen maar ook zichtbaar maken. Als een atoom wordt beschenen met laserlicht van de juiste golflengte, dan gaat het zelf in alle richtingen licht uitzenden. We nemen een klein lichtvlekje waar dat afkomstig is van een atoom. Soms is dat licht met het blote oog te zien. We stellen ons voor dat het atoom voortdurend op en neer springt tussen twee energieniveaus. Als een foton uit het laserlicht geabsorbeerd wordt, gaat het atoom naar het hoogste energieniveau. Telkens wanneer het atoom terugvalt naar het laagste energieniveau, komt het foton weer tevoorschijn. Het zijn de uitgezonden fotonen die het atoom zichtbaar maken, maar de sprongen op en neer tussen de energieniveaus zijn niet afzonderlijk te zien. Daarvoor volgen ze elkaar te snel op, wel een mil-

jard maal per seconde. We zien alleen een continu schijnsel. Kiezen we echter een atoom waarvan het bovenste energieniveau zwak gekoppeld is met een derde niveau, zodat een sprong naar dit derde niveau een paar maal per minuut plaatsvindt, dan zendt het atoom een paar maal per minuut geen licht uit. We zien het lichtvlekje op willekeurige momenten aan- en uitgaan. Volgens Nienhuis is het 'alsof een onzichtbare hand aan de schakelaar zit. Wanneer deze onzichtbare hand de schakelaar omzet wordt door niets bepaald en door niemand beslist. De verschillen in de duur van de donkere periodes is in de meest zuivere betekenis een effect zonder oorzaak.'

Hier is het vreemde van de kwantummechanica met het blote oog te zien. De tijdstippen waarop de sprongen in het atoom plaatsvinden zijn onvoorspelbaar. Toch heeft professor Nienhuis op basis van de kwantummechanica de kansverdeling van de sprongmomenten met grote nauwkeurigheid kunnen berekenen, uitgaande van de precieze frequenties van het laserlicht en de energieniveaus in het atoom. Dit betekent dat de verschillen in tijd, tussen donkere en lichte periodes, volstrekt willekeurig zijn. Het gaat steeds om hetzelfde atoom dat steeds in identiek dezelfde energietoestand wordt gebracht. Toch blijft volgens de kwantummechanica het moment onvoorspelbaar waarop het foton geabsorbeerd en weer uitgezonden wordt. Het atoom vertoont in identieke situaties verschillend gedrag en de verschillen in tijd hebben geen oorzaak. Men zou natuurlijk ook kunnen zeggen dat het atoom kennelijk niet steeds precies in dezelfde toestand is, dat er toch nog verborgen verschillen zijn die door de kwantummechanica niet worden beschreven.

Voor de niet-ingewijde waarnemer is het effect niet spectaculair: men ziet eenvoudig een onbetekenend lichtvlekje, dat soms verdwijnt en na een tijdje weer verschijnt. Wie zich in de details van het experiment verdiept, beseft dat hier kwantumsprongen in een atoom worden waargenomen. De waarneming van de

sprongen is een echte meting, maar met het blote oog, van een kwantummechanisch effect. Er wordt vaak beweerd dat het helemaal niet verbazend is dat het gedrag van direct zichtbare en tastbare objecten als kogels en slingers wel voorspelbaar is en van elektronen, fotonen en atomen niet, omdat microscopische deeltjes niet direct waarneembaar zijn. In het onderzoek van professor Nienhuis blijft van het onderscheid tussen het microscopische en het macroscopische niet veel over. De fundamentele onbepaaldheid van sommige fysische verschijnselen is zichtbaar voor iedereen die kan zien. Het is zoals Stephen J. Gould tegen Wim Kayzer zei: 'God lives in the details.'

Superintense lasers

Lasers zijn er in alle soorten en maten, zo klein als een speldenknop of zo groot als een flatgebouw, zo flonkerend als in een disco of zo onzichtbaar als in een cd-speler. Sommige lasers stralen continu als een zoeklicht, andere flitsen als een vuurtoren. Laserbundels worden gemaakt in alle kleuren van de regenboog en meer want infrarode lasers en röntgenlasers zijn er ook al. Men kan er mee lezen en schrijven, bommen mee sturen, lassen, boren, analyseren of telefoneren. De meest intense lasers worden gebruikt voor fundamenteel onderzoek der materie.

Sinds kort is het mogelijk om onderzoek te doen met laserlicht met een intensiteit van 10^{17} watt/cm^2. Een flinke elektriciteitscentrale heeft een vermogen van een gigawatt, dat is 10^9 watt. Het totale geïnstalleerde productievermogen voor elektriciteit in Nederland is ongeveer 15 gigawatt. Hoe kan het dan dat wij in het laboratorium toch laserlicht met een intensiteit van 10^{17} watt/cm^2 ter beschikking hebben? Dat kan alleen omdat het licht maar een hele korte tijd aanstaat, de flitstijd is gelijk aan 100 femtoseconden, dat is 10^{-13} seconde. Uit de laser komt maar een heel klein beetje energie, minder dan 0,1 joule. Een joule is ongeveer gelijk aan de hoeveelheid warmte die vrijkomt als je één keer in je handen wrijft. Als 0,1 joule uitgestraald wordt in een lichtflits van 100 femtoseconden dan is het toch 10^{12} watt en als dat licht gefocusseerd wordt tot een bundel van 30 micrometer doorsnede dan is de lichtintensiteit gelijk aan 10^{17} watt/cm^2.

Het gebruik van superintense lasers heeft onze visie op het aloude foto-elektrisch effect, het feit dat licht elektrische verschijnselen teweegbrengt, revolutionair gewijzigd. De ontdekking van het foto-effect, in de negentiende eeuw, heeft de geboorte van de natuurkunde van de twintigste eeuw ingeluid. J.J. Thomson was in 1899 de eerste om vast te stellen dat het foto-effect van een metalen plaatje, dat bestraald wordt met ultraviolet licht, veroorzaakt wordt door de emissie van elektronen. In 1902 deed Philip Lenard de cruciale ontdekking dat de intensiteit van het licht de hoeveelheid elektronen bepaalt die geproduceerd wordt, niet hun energie. De energie van de elektronen bleek alleen afhankelijk te zijn van de kleur van het ingestraalde licht. Het duurde tot 1905 voor Einstein een verklaring gaf voor het foto-effect.

Einstein ging ervan uit dat licht uit deeltjes bestaat, fotonen. In het foto-effect neemt het elektron alle energie van het foton over, dat daarmee ophoudt te bestaan. Het elektron komt alleen uit het metaal tevoorschijn als het foton voldoende energie heeft. Rood licht heeft dat niet, maar violet licht wel. Als er veel violet licht op het metaal valt dan komen er veel elektronen tevoorschijn, als er weinig licht op valt dan zullen er ook weinig elektronen vrij gemaakt worden. Voor deze verklaring van het foto-effect kreeg Einstein in 1921 de Nobelprijs.

Onder condities van superintense laserstraling gedraagt het foto-effect zich geheel anders. Atomen die zich in het laserfocus bevinden, kunnen gemakkelijk meer dan 1 foton opnemen. Aldus kan via 'multi-fotonabsorptie' van rood licht, dat per foton niet genoeg energie heeft voor het foto-elektrisch effect, toch een elektron vrijgemaakt worden.

Voor atomen als argon of xenon is het nodig dat er maar liefst 8 of 9 rode fotonen geabsorbeerd worden voordat het buitenste elektron zich uit deze atomen kan verwijderen. Toch gebeurt dat via multi-fotonabsorptie en wordt de elektronenemissie inder-

daad waargenomen. Eerst werd alleen de productie van geïoniseerde argon- of xenonatomen gemeten. Toen men de uitgeworpen elektronen zelf ging detecteren bleek dat de energie van de elektronen wél afhangt van de intensiteit van het ingestraalde laserlicht. Er is nóg een verrassing: het energiespectrum van de vrije elektronen vertoont een groot aantal pieken van elektronen die 8, 9, 10, 11, 12... fotonen hebben geabsorbeerd. Kennelijk worden de elektronen versneld door absorptie van meer fotonen dan strikt noodzakelijk is om vrij te komen van het atoom. Dit is alleen mogelijk omdat de lichtflits zo intens is dat het elektron zich nauwelijks van het atoom verwijdert terwijl het steeds meer fotonen absorbeert. Zo krijgt het steeds meer energie waarmee het na de lichtflits weg kan vliegen.

Het onderzoek met intens laserlicht heeft ons geleerd dat de mens, als een beeldhouwer, het atoom kan boetseren en het een vorm kan geven. Wij kunnen met laserstralen niet alleen elektronen van het atoom verwijderen, maar ze ook binnen in het atoom dwingen te trillen op een manier die bepaald wordt door de kleur van het licht. Elektronen op de rand van het atoom zijn daarvoor het meest gevoelig omdat ze zwak gebonden zijn. Hun beweging rond de kern wordt meer verstoord door laserlicht dan de beweging van elektronen die zich dichter bij de atoomkern bevinden. Dit leidt tot waarneembare veranderingen in het atoom die afhankelijk zijn van de kleur en de intensiteit van het ingestraalde licht. Voor hele hoge intensiteiten wordt voorspeld dat de elektronenwolk totaal zal veranderen, zowel naar vorm als naar volume. In lineair gepolariseerd laserlicht zal het atoom de vorm aannemen van een halter met aan de uiteinden twee volledig gescheiden elektronenwolken die heel snel op en neer trillen. In circulair gepolariseerd laserlicht zal het atoom de vorm aannemen van een Amerikaanse donut.

Aanvankelijk werd gedacht dat geen enkel atoom stabiel kon blijven en dat ieder atoom onder invloed van de hoge stralings-

dichtheid uit elkaar zou vallen. Thans blijkt dat laserlicht heel selectief te werk gaat, sommige elektronen kunnen er niet tegen en verdwijnen vrijwel onmiddellijk terwijl andere elektronenbanen juist stabieler worden onder invloed van laserlicht. Men vraagt zich thans zelfs af of het mogelijk is om elektronen aan een atoom vast te 'plakken' met licht.

Het onderzoek dat met dit laserlicht gedaan wordt heeft geleid tot fundamentele ontdekkingen, niet alleen omdat de intensiteit ongekend hoog is, maar ook omdat de flitstijd zo kort is. Hoe kort, dat blijkt wel als men beseft hoe ver het foton reist binnen de tijd van de flits. De lichtsnelheid bedraagt 300.000 km/sec. In één seconde kan licht acht keer de wereld rond, maar in 100 femtoseconden is de afstand slechts 30 micrometer. Een rood foton legt in deze uiterst korte tijd een weg af die maar dertig keer de eigen golflengte is. Zware deeltjes zijn veel langzamer en kunnen binnen de flitstijd van de laser nauwelijks bewegen. Men krijgt met deze flitslamp dus bijna nooit een bewogen beeld. Daarom is het nu mogelijk om stroboscopische opnamen te maken van de beweging van elektronen in een atoom en van de vibratie en rotatie van atomen in een molecuul. Wij kunnen ze eindelijk zien vliegen.

Het technisch paradijs

Met boeken moet je naar bed kunnen. Ze horen op het nachtkastje, niet op de salontafel. 'Coffeetable books' worden gemaakt om mooi te zijn, als cadeau, niet om te lezen. Daarvoor zijn ze te zwaar en te onhandig. Helaas wordt *Techniek in Nederland in de twintigste eeuw* bij Walburg Pers uitgegeven als salontafelboek, terwijl juist de geschiedenis van de techniek in de eeuw die achter ons ligt zo spannend is en wij ervan kunnen leren.

Zojuist verscheen deel II: 'Delfstoffen, Energie en Chemie'. De geschiedenis van deze drie basiselementen in de afgelopen eeuw is de geschiedenis van spectaculaire ontwikkelingen in onze maatschappij. Nederland veranderde in honderd jaar van een relatief delfstoffenarm naar een delfstoffenrijk land. Wij zijn het enige land in de westerse wereld waar zich na de Tweede Wereldoorlog een stijging voordeed van de energie-intensiteit in de industriële productie. Na de aardgasvondst in Slochteren verdubbelde in onze industrie, en bovenal de chemie, de hoeveelheid energie per eenheid product. Ook in de huishoudens steeg het energieverbruik door gasaansluitingen en elektrificatie tot duizelingwekkende hoogten, om tijdens de oliecrises tijdelijk tot stilstand te komen. Aardgas in overvloed, toenemende druk op de elektriciteitssector en een steeds kritischer houding van de Nederlandse bevolking ten aanzien van kernenergie, leidden tegen het eind van de twintigste eeuw tot diepgaande hervormin-

gen in de Nederlandse energievoorziening.

Ongetwijfeld was de millenniumwisseling aanleiding tot deze geschiedschrijving. Dat is mooi meegenomen want nu leven de meeste actoren nog en konden zij bij de geschiedschrijving betrokken worden, hetgeen de levendigheid van het verhaal over zulke 'dode materie' als delfstoffen, energie en chemie, alleen maar ten goede komt. Toch ben ik bang dat deze historie niet gelezen wordt, want de *message* verzuipt in de massa. Dat is jammer, niet alleen vanwege alle moeite maar vooral omdat verduurzaming van de energievoorziening in de komende eeuw nog eens zo'n revolutie in onze maatschappij zal ontketenen en we van de geschiedenis kunnen leren. Daarom juich ik het toe dat er tegelijk met het verschijnen van dit boek in Teylers Museum een tentoonstelling was. Met steun van de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO), die zijn vijftigste verjaardag viert, toonde Teylers Museum 'Het Technisch Paradijs' en daar hoorde een catalogus bij die wel tussen de lakens past.

Er is al een generatie die niet meer weet waarvoor het wasbord, de weckpot of de wringer dienden. Voorwerpen die nog niet zo lang geleden vervangen werden door apparaten die werken op elektra of gas. In de jaren twintig en dertig woedde een felle concurrentiestrijd tussen gas- en elektriciteitsbedrijven om de gunst van de consument. De energiebedrijven stelden zelfs adviseuses en kooklераressen aan om de huisvrouw voor zich te winnen. Deze slag om de huisvrouw wordt geïllustreerd aan de hand van propagandafilmpjes, brochures en affiches. Toen er een tekort aan huishoudelijk personeel ontstond, waardoor de vrouw des huizes voortaan zelf meer taken kreeg toebedeeld, werd het belangrijk dat het werk efficiënt kon worden uitgeoefend met tijdsbesparende apparaten. Stoffer en blik maakten plaats voor stofzuiger, de wasmachine verving de tobbe en in plaats van het petroleumstel ging het fornuis aan. De tentoon-

stelling toonde de ontwikkeling van strijkijzer, stofzuiger en wasmachine en hoe een elektrisch ontbijt eruitzag. Behalve voor hygiëne en voeding was er aandacht voor massacommunicatie en amusement, die met de introductie van radio en tv hun intrede in het gezinsleven deden. De bezoeker kon ook een kijkje nemen in het huis van de toekomst, waar zelflerende systemen onze behoeften in kaart brengen en huishoudelijke apparaten optimaal zijn aangepast aan ieders persoonlijke wensen.

Wel eens gehoord van een elektrische kruik? Of een elektrische kam? En wat dacht u van een elektrische botervloot? Ze bestaan echt! Wie naar het Technisch Paradijs kwam, kon deze en andere rare, nutteloze maar vooral ook opvallende uitvindingen bekijken. Speciaal voor jonge uitvinders schreef Teylers Museum een prijsvraag uit voor Knettergekke Uitvindingen. Wie een briljante elektrische uitvinding deed of een apparaat elektrificeerde waar eigenlijk niemand op zit te wachten, maakte kans op een prijs.

Het dikke deel II van *Techniek in Nederland in de twintigste eeuw* besteedt vooral aandacht aan de rol van ingenieurs en bestuurders. Belangrijke conclusies zijn dat onze provinciaalse cultuur niet past bij de schaalgrootte van kernenergie, maar bij uitstek geschikt is voor decentrale opwekking in warmtekrachtinstallaties. En Nederland gasland kon snel worden gerealiseerd dankzij Shells ervaring met exploratie en productie in het buitenland. Teylers Museum toont aan dat meer dan de ingenieur de gebruiker bepaalt hoe ons technisch paradijs eruit zal zien. Ook de duurzame samenleving van de komende eeuw, waarin aan de noden van onze generatie wordt voldaan zonder de noden van toekomstige generaties in gevaar te brengen, is een technisch paradijs. Wij kunnen leren wat er mogelijk en nodig is om dat te bereiken in Teylers, hét Museum van onze cultuur.

Elektrofobie

Soms ben ik wel eens bang dat wij fysici een tijdbom hebben gecreëerd. Dat gevoel had ik heel sterk tijdens de Koude Oorlog, toen men zei dat de mens altijd alle wapens gebruikt die hij ontwikkeld heeft. Gelukkig worden de grootste kernwapens thans vernietigd. Toch merk ik dat mijn bangheid niet weg is, de kerncentrales in Oost-Europa zijn een gevaar, er wordt hoog-radioactief uranium gesmokkeld en plutonium wordt zelfs over de hele wereld verscheept, maar het meest bang ben ik voor gevaren die we nog niet onderkennen.

In *New Scientist* van 31 oktober 1992 staat dat kinderen die in de buurt wonen van hoogspanningsleidingen een verhoogde kans hebben op leukemie. Maria Feychting en Anders Ahlbom van het Karolinska Instituut in Stockholm hebben de gegevens bestudeerd van vijfhonderdduizend mensen die in de periode van 1960 tot 1985 gewoond hebben binnen een afstand van driehonderd meter van hoogspanningskabels. Van hen ontwikkelden honderdtweeënveertig kinderen kanker, negenendertig kregen leukemie. Vergeleken met gegevens over alle kinderen in Zweden jonger dan vijftien jaar, was de kans op leukemie tweeënhalf keer zo groot voor kinderen die in een omgeving woonden met een stralingsveld van 0,2 microtesla en 3,8 keer zo groot in een veld van 0,3 microtesla. Ik schrik daarvan, want zoiets had ik helemaal niet verwacht.

De wisselstroom in een hoogspanningskabel wekt een elek-

tromagnetisch veld op dat stromen in ons lichaam zou kunnen induceren. In principe is dat mogelijk. Aangezien het zenuwstelsel en de spieren in ons lichaam voortdurend van elektrische stromen gebruikmaken, is het denkbaar dat stromen die van buitenaf in het lichaam geïnduceerd worden de boel in de war kunnen sturen. Als ze tenminste van dezelfde grootte zijn als de stromen die normaal in ons lichaam aanwezig zijn.

Men kan een schatting maken van de stroomdichtheid die in ons lichaam opgewekt wordt door een uitwendig veld. Bij een magnetische veldsterkte van 0,2 microtesla, waarvan sprake is in Zweden, ontstaat een maximale stroomsterkte van 0,6 microampère per m^2. Dit is volkomen verwaarloosbaar ten opzichte van de stromen die men normaal in ons lichaam waarneemt. Als voorbeeld hiervan kan de stroomdichtheid dienen die samengaat met het depolarisatieproces binnen de hartspierwand. Deze bedraagt ongeveer 55 ampère per m^2, dus honderd miljoen keer zo groot. De prikkeldrempel op onze huid ligt vijftig miljoen maal hoger dan die 0,6 microampère per m^2.

Toch bestaat er sinds 1979 bezorgdheid over de mogelijke gevolgen voor de gezondheid van elektromagnetische velden veroorzaakt door hoogspanningsleidingen. Toen rapporteerden onderzoekers een zwakke relatie tussen het elektriciteitsnet in de VS en sterfte door leukemie bij kinderen. Dit heeft tot gevolg gehad dat er nogal wat onderzoek is gedaan naar het effect van elektromagnetische velden op weefsels, bloed, cellen, DNA-structuur, hormonen en neurotransmitters. In bijna alle gevallen werden duidelijke effecten waargenomen, zowel in gekweekte cellen als in hele organismen. Zo wordt het transport van ionen door celmembranen bevorderd door een elektrisch veld. Biosynthese van eiwitten wordt geactiveerd door een wisselend magneetveld met een frequentie van 50 Hz. De effecten zijn lang niet altijd negatief. Zo kunnen beenbreuken sneller gerepareerd worden door botgroei te bevorderen met een elektrische stroom

van 10 tot 100 milliampère per m^2.

De experimenten hebben één ding gemeen: de veldsterkten die nodig zijn om waarneembare effecten te verkrijgen zijn vele malen groter dan in een normale woon- of werkomgeving voorkomen. In de *Physical Review* A43 (1991, p. 1039) rekent Robert K. Adair voor dat de beweging van ionen in celmembranen ten gevolge van velden veroorzaakt door hoogspanningsleidingen vele ordes van grootte kleiner is dan de warmtebeweging van ionen in een cel. Hij hekelt ook de vermeende relatie met leukemie door te wijzen op gegevens uit de staat Connecticut. Daar is tussen 1940 en 1980 het aantal gevallen van leukemie gelijk gebleven terwijl het elektriciteitsverbruik vertienvoudigd is. Toch is de bezorgdheid niet weggenomen en ook overgeslagen naar andere landen.

Op 26 augustus 1991 verzocht onze minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer aan de Gezondheidsraad om advies uit te brengen over de gezondheidsrisico's van blootstelling aan extreem laagfrequente elektromagnetische velden. Op 8 april 1992 bracht de Gezondheidsraad rapport uit en concludeert dat er onvoldoende wetenschappelijke grond is om aan te nemen dat blootstelling aan velden met een frequentie van 50 of 60 Hz en met veldsterkten die in de woon- of werkomgeving voorkomen, nadelige effecten op de gezondheid veroorzaakt.

Deze conclusie wordt onderbouwd met een overzicht van alle voorkomende bronnen en veldsterkten, de wisselwerking met en de effecten op biologische systemen, het epidemiologisch onderzoek en suggesties voor verder onderzoek. In het rapport wordt erop gewezen dat onder elektrische dekens het magneetveld kan oplopen tot 2,5 microtesla, gelijk aan het veld op 30 meter afstand van een 150 kV-hoogspanningskabel. Er is echter geen associatie aangetoond tussen het gebruik van elektrische dekens en leukemie, kanker aan de testes of borstkanker. In het

rapport staat dat weliswaar in enkele epidemiologische onderzoeken in de VS een relatie is gevonden tussen de configuratie van de bovengrondse draden van het elektriciteitsnet en het voorkomen van leukemie bij kinderen, maar deze relatie is, volgens het rapport, onvoldoende aanleiding voor het aannemen van een oorzakelijk verband, omdat een relatie met de gemeten sterkte van de velden niet is gevonden.

Het recente onderzoek van Feychting en Ahlbom in Zweden heeft, volgens *New Scientist*, nu juist dit verband tussen de veldsterkte en het risico van kanker voor het eerst aangetoond. Als je op de leukemiekaart van Zweden het stroomverbruik in het land kan aflezen, dan krijg ik toch het bange vermoeden dat er iets mis is, ook al kan ik uitrekenen dat het haast onmogelijk is. Lijd ik dan aan elektrofobie?

Onvrede

Boven mijn salontafel hangt al enige tijd onvrede. Dit is zo sinds mijn bezoek aan Atlanta, waar de Amerikaanse Natuurkundige Vereniging zijn honderdste verjaardag vierde. Ik heb u er niet mee lastig willen vallen. Het was immers mijn probleem, meer iets voor fysici dan voor normale mensen. Tenminste, ik merkte niet dat u er zo mee zat. Het leek in het afgelopen jaar wel of ik de enige was die zich ergerde. Maar nu blijkt dat toch niet helemaal waar. Sinds 22 maart 2000 ligt de Kosovo-evaluatie van het kabinet op tafel. Nu pas durf ik uit te komen voor mijn onvrede.

Op het verjaardagsfeest van de Amerikaanse fysici werd ook gesproken over het wetenschapsbudget en de oud-directeur van NASA, oud-staatssecretaris voor defensie en rector van Texas University, vertoonde een grafiek die liet zien dat sinds de Tweede Wereldoorlog het Amerikaanse wetenschapsbudget parallel loopt met het defensiebudget. In hoogte scheelt het zo'n factor tien, maar over de afgelopen vijftig jaar vertoonden de lijnen van het wetenschapsbudget en het defensiebudget precies dezelfde bewegingen. Gestage groei tijdens de Koude Oorlog, scherpe pieken ten tijde van de oorlogen in Korea en Vietnam, maar na de Koude Oorlog, na de val van de Berlijnse muur, daalde het budget dramatisch om gedurende de Golfoorlog weer even omhoog te schieten. De boodschap was duidelijk: om het wetenschapsbudget omhoog te krijgen is een oorlog gewenst.

Op datzelfde moment was op tv in onze hotelkamers te zien

hoe Bill Clinton in het Amerikaanse parlement om toestemming vroeg voor de bombardementen op Joegoslavië. Toen ik op Schiphol landde waren die begonnen. Nederlandse F16's deden mee en ik vroeg me af of ik soms iets gemist had. Dit was toch geen vredesmissie, dit was oorlog en nog wel buiten het gebied van de NAVO. Hadden alle politieke en economische sancties gefaald? Was oorlog onvermijdelijk? Zouden we straks ook grondtroepen sturen? Hadden wij dan niets geleerd van Srebrenica? Zou hiermee een eind komen aan de etnische slachtingen en aan de eindeloze stroom vluchtelingen over ons scherm? Hoe zouden we ooit tot vrede komen in de Balkan? Had de Tweede Kamer hiervoor toestemming gegeven? Wanneer dan, toen ik in Amerika zat?

Na alle afgrijselijke ellende was de eerste die ik op het scherm zag, minister De Grave die kwam zeggen dat één miljoen vluchtelingen een volkomen onvoorziene en onbedoelde ontwikkeling was. Hij verbond daaraan niet de consequentie om af te treden. Vroeg hij de Tweede Kamer om toestemming voor het uitbreiden van de bombardementen tot elektriciteitscentrales, olieopslagplaatsen en andere civiele doelen in Joegoslavië? Toen Milosevic eindelijk opgaf, zijn leger zich terugtrok en Kosovo-Albanezen met militaire steun naar hun kapotgeschoten huizen terugkeerden, hadden wij toen ons doel bereikt?

De Kosovo-evaluatie van het kabinet geeft op de meeste vragen antwoord maar dat neemt mijn onvrede niet weg. Het kabinet concludeert dat militair ingrijpen onvermijdelijk was onder andere omdat de politieke inspanningen werden gehinderd door verschil van inzicht en belangen. 'Zo waren vooral enkele zuidelijke lidstaten zeer terughoudend ten aanzien van het treffen van verdere maatregelen, waardoor – ondanks sterke druk van vooral Nederland en het Verenigd Koninkrijk – de EU pas na aanvang van de luchtacties overeenstemming kon bereiken over uitbreiding (olie-embargo) en aanscherping van de sancties te-

gen Joegoslavië.' Vervolgens constateert het kabinet dat 'coalition warfare' een buitengewoon moeilijke opgaaf is. Ik zou zeggen onmogelijk: als je politiek geen bondgenoten bent, hoe kan je het dan zijn op het slagveld? En dat blijkt ook want de NAVO vroeg zijn lidstaten niet expliciet mandaat voor de bombardementen op civiele doelen (omdat de negentien lidstaten hierover op korte termijn geen consensus zouden bereiken) en zoals thans blijkt was er geen sprake van NAVO bombardementen maar kozen de VS, het VK en Frankrijk zelf hun doelen. Nederland stond buitenspel, als lid van de Veiligheidsraad en van de EU omdat die politiek niet sterk genoeg zijn, en als lid van de NAVO omdat de grote mogendheden daar de dienst uitmaken. En wat doet het kabinet in dit verband? Het vraagt zelf om meer militaire middelen.

Volgens het kabinet zijn met de bombardementen vier van de vijf politieke doelen bereikt. Maar is er niet veel meer humanitaire, economische, bestuurlijke en politieke ellende veroorzaakt? En zijn die problemen nog wel oplosbaar? Met meer dan een miljoen vluchtelingen, die in Servië nog niet eens meegerekend. Is er een eind gekomen aan de etnische slachtingen, van weerskanten? Is de militaire kracht van KFOR genoeg garantie voor stabiliteit in Kosovo? Hebben die bombardementen de weg geopend naar een politieke oplossing? Maar wie heeft er dan wel belang bij gehad dat er gebombardeerd is? In ieder geval de producenten van het geleide wapentuig, dat het in Joegoslavië zichtbaar 'beter' deed dan in Irak. Dus degenen die belang hebben bij het defensiebudget. Zoals wij fysici.

De illusie van de Chinese keizer

Op z'n negenentwintigste verjaardag, werd in Dodewaard de eerste Nederlandse kerncentrale stilgelegd. De bouw heeft indertijd 200 miljoen gekost, recente modificaties nog eens 100 miljoen. Met het bedrijf van de centrale was 100 miljoen per jaar gemoeid, waarvan de helft werd terugverdiend door levering van stroom aan het lichtnet. De andere helft, 50 miljoen gulden bedoeld voor research en ontwikkeling, vond de SEP (Samenwerkende Elektriciteits Producenten) te veel worden omdat kernenergie in ons land weinig toekomst heeft.

Ontmanteling van de kerncentrale kost ongeveer 350 miljoen gulden. Na een afkoelingsperiode van zeven jaar kan de bestraalde splijtstof eruit gehaald en de centrale ontmanteld worden, maar de SEP geeft de voorkeur aan nog eens veertig jaar te wachten omdat dan de straling van het reactorvat, de apparatuur en het gebouw minder zal zijn door natuurlijk radioactief verval. Buiten de splijtstof wordt het grootste deel van de radioactiviteit van de centrale gevormd door radioactieve isotopen, vooral kobalt, ijzer en nikkel, ontstaan door activering in het materiaal rondom de reactorkern en besmetting van leidingen en apparatuur tijdens bedrijf. Radioactief ijzer vervalt snel, kobalt in veertig jaar, langer wachten heeft weinig zin gezien de lange halveringstijd van radioactief nikkel. Van de beide varianten zijn de veiligheidsrisico's voor de omgeving verwaarloosbaar en voor het personeel gering. Bij directe ontmanteling is de lo-

catie zeven jaar na stillegging weer beschikbaar voor hergebruik, aanzienlijk eerder dan bij de andere variant. Wordt gekeken naar de benodigde fondsen voor ontmanteling dan blijkt de contante waarde van de uitgaven gemoeid met directe ontmanteling honderddertig miljoen hoger te zijn dan bij ontmanteling na veertig jaar.

Of de ontmanteling over zeven of over zevenenveertig jaar plaatsvindt, er zal meer dan tweeduizend ton radioactief afval overblijven dat in Borssele moet worden opgeslagen. Ook de bestraalde splijtstof uit Dodewaard zal uiteindelijk daar terechtkomen, na opwerking in Engeland. Nederland geeft voorlopig de voorkeur aan bovengrondse opslag van het radioactieve afval in betonnen bunkers van de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA) te Borssele.

Zowel het tijdstip van ontmanteling van de kerncentrale Dodewaard als de opwerking van de bestraalde splijtstof staan momenteel ter discussie. Terwijl de SEP alle details van de kerncentrale netjes wil registreren en hem dan wil afsluiten en zevenenveertig jaar bewaken, gaan er stemmen op om hem zo spoedig mogelijk te ontmantelen en geen mausoleum te laten ontstaan.

Ook over het opwerken van bestraalde splijtstof verschilt men van mening. Greenpeace stelt voor deze splijtstof direct bij de COVRA op te slaan in plaats van in Engeland eerst het nog splijtbare materiaal eruit te halen en in kerncentrales op te branden. Volgens mij wordt er in deze discussies om de hete brij heen gedraaid, letterlijk. Of de kerncentrale voorlopig in Dodewaard blijft, of wordt afgebroken en naar Borssele gaat, of bestraalde splijtstof eerst wordt opgewerkt of meteen naar de bunkers van COVRA gaat, wij blijven zitten met een berg hoogradioactief afval waar we geen raad mee weten.

Het grootste probleem zijn de actiniden: plutonium, neptunium, americium en curium, hoogradioactieve isotopen die ontstaan uit uraan door het invangen van neutronen. Actiniden

hebben een halveringstijd van tienduizenden jaren en vormen zo'n groot gevaar voor onze gezondheid dat ze gegarandeerd buiten het milieu moeten blijven. Maar hoe kunnen wij dat ooit garanderen? De bunkers van de COVRA zijn bedoeld voor vijftig jaar bovengrondse opslag, daarna spreekt men van 'eindberging', bijvoorbeeld ondergronds in een zoutmijn, maar daarover bestaat geen consensus. Men heeft nog niemand gevonden die boven een opslagplaats van radioactief afval wil wonen; geen mens kan aantonen dat het materiaal daar voor tienduizenden jaren veilig ligt opgeborgen.

Tijdens een periode van droogte in het voorjaar van 1974 besloot de Yanzhai-commune even buiten Xian een nieuwe waterput te slaan. Daarbij stuitte men op een aantal beelden die bleken te behoren tot een leger van terracotta soldaten. Sindsdien is het gebied een paradijs voor archeologen waar nog lang niet alles is opgegraven. Over de eerste vindplaats is een soort hangar geplaatst die een van de meest interessante bezienswaardigheden van China huisvest.

De terracotta soldaten zien er realistisch krijgshaftig uit. Iedere soldaat heeft een eigen gezicht, vierkant met een breed voorhoofd en grote, dikke lippen. De meeste hebben een snor, sommigen een sikje of een baard. Hun gezichtsuitdrukking is in het algemeen nors, de ogen staan op oneindig. Met een lengte van een meter tachtig zijn ze een hoofd groter dan de gemiddelde chinees. De onderste helft van hun lichaam is massief aardewerk, het bovenste gedeelte is hol. Ze moeten vroeger beschilderd zijn geweest, maar de kleur is vrijwel helemaal verloren gegaan.

Het merendeel van het leger is nu opgegraven, gerestaureerd en staat netjes in gelid. De voorste drie rijen worden gevormd door lichtbewapende boogschutters, zeventig per rij. Daarachter staan achtendertig kolommen zwaarbewapende infanteris-

ten afgewisseld met groepen paarden en cavalerie. Om de authenticiteit van deze vondst te illustreren is het achterste gedeelte niet blootgelegd. Hier ziet men hoofden, lichaamsdelen en wapens boven het zand uitsteken. Naast deze zesduizend beelden is er een groot aantal bronzen voorwerpen gevonden als zwaarden, dolken, lansen, speren en kruisbogen.

Dit leger van gekloonde soldaten maakt deel uit van het mausoleum dat de eerste keizer van China, Qin Shi Huang, voor zich liet bouwen. Gelijk met de troonsbestijging, in het jaar 246 voor Christus, is met de constructie van het mausoleum een begin gemaakt. Er is door zevenhonderdduizend mensen gedurende bijna veertig jaar aan gewerkt. In die tijd telde het land twintig miljoen inwoners, zodat ondanks de gebrekkige communicatie vrijwel iedereen in China van het keizerlijke mausoleum en het terracotta leger geweten moet hebben. Hoe kon dit grootste beeldhouwwerk aller tijden dan ooit zoek raken?

De Chinese keizer dacht zijn vrouwen en andere bezittingen, beschermd door een zesduizend koppen tellend leger, veilig tot in lengte van jaren z'n graf mee in te nemen. Volgens Sima Qian, die honderd jaar na de val van de Qin-dynastie begon met de eerste grote geschiedschrijving van China, brak er echter na de dood van keizer Qin Shi Huang een opstand uit. Het leger van de rebelse generaal Xiang Yu plunderde het mausoleum en in 206 voor Christus werd, gelijk met de hoofdstad van de Qin-dynastie, ook het gebouw dat het terracotta leger huisvestte in brand gestoken, waardoor het dak instortte en de beeldengalerij zwaar beschadigd werd. De Chinese beschaving is niet stabiel genoeg gebleken. De galerij werd vergeten en raakte onder het zand. Pas tweeduizend jaar later werd het leger bij toeval weer ontdekt.

Is de huidige maatschappij stabieler? Kunnen wij garanderen dat onze 'monumenten' wel de tand des tijds doorstaan? Ons radioactief afval wordt terughaalbaar opgeslagen, omgeven door

beveiligings- en communicatiesystemen. Net als de Chinese keizer denkt de moderne mens zijn erfenis veilig tot in lengte van jaren z'n graf mee in te nemen. Leert de historie met het terracotta leger niet dat het een illusie zal blijken? Terughaalbaar opslaan houdt het gevaar in dat hoogradioactief materiaal in verkeerde handen terecht kan komen. Niet terughaalbaar opslaan kan leiden tot een milieuramp waarvoor wij geen remedie hebben.

Is er een alternatief? In principe is het mogelijk radioactieve isotopen te transmuteren, te splijten tot ongevaarlijke atomen. Dit kan men doen door de isotopen te bestralen met snelle deeltjes uit een versneller of met neutronen in een kernreactor, maar dit onderzoek staat nog in de kinderschoenen. De SEP zou het kunnen stimuleren met het geld dat uitgespaard wordt door de ontmanteling van de kerncentrale in Dodewaard uit te stellen. In veertig jaar kunnen wij misschien leren hoe we kunnen afkomen van de nucleaire erfenis.

Plutonium de wereld uit, om te beginnen uit Nederland

'Onbespreekbaar' vond de PvdA-minister het VVD-voorstel om de Kerncentrale Borssele langer open te houden teneinde onze CO_2-emissies te reduceren. Het standpunt is begrijpelijk, want de inzet van uranium in plaats van fossiele brandstoffen voor elektriciteitsopwekking vermindert wel de uitstoot van broeikasgassen maar vergroot een ander ernstig milieuprobleem: de berg radioactief afval en vooral plutonium waarmee wij zitten. Toch zou ik het voorstel, om een andere reden dan de VVD, graag met de minister bespreken, want de kerncentrale kan plutonium opbranden en dan slaan we twee vliegen in een klap.

De kerncentrale Borssele (KCB) produceert ongeveer 130 kg plutonium per jaar. Dit plutonium wordt gevormd door de activering van uranium in de splijtstof. In Nederland is in het verleden besloten het plutonium dat in de kerncentrales in Borssele en Dodewaard is geproduceerd, uit de gebruikte splijtstof af te scheiden (op te werken) voor hergebruik aangezien het een aanzienlijk energiepotentieel vertegenwoordigt. Op dit moment is door opwerking van de splijtstof uit de KCB ruim 1800 kg plutonium beschikbaar gekomen. Deze hoeveelheid zal door gebruik van de kerncentrale tot 2004 verder toenemen tot ruim 3100 kg.

Momenteel is er nog geen bestemming voor het opgewerkte plutonium uit de KCB. Het ligt opgeslagen in het Franse La Hague (waar de opwerkingsfabriek is gesitueerd) in afwachting van een beslissing. Verkoop ligt de komende jaren niet voor de hand

aangezien het overschot aan plutonium op de wereld, mede ontstaan door de ontmanteling van kernwapens, heeft geleid tot een negatieve marktwaarde. De Fransen zullen ons plutonium dus terugsturen naar Nederland. Door onder andere Greenpeace is voorgesteld het opgewerkte plutonium dan maar op te bergen in de ondergrond. De maatschappelijke acceptatie hiervan is echter gering, en terecht want plutonium blijft nog vele tienduizenden jaren hoogradioactief en moet al die tijd gegarandeerd buiten het milieu blijven.

Hergebruik van plutonium, de oorspronkelijke doelstelling, kan zonder problemen als een deel van de kern van KCB met plutonium in de vorm van MOX-splijtstof (Mixed Oxide, een mengsel van plutonium- en uraniumoxide) wordt beladen. Bij een belading van de reactorkern tot 30-40% zal het verbruikte plutonium in de MOX splijtstof het geproduceerde plutonium in de standaard uraniumoxidesplijtstof compenseren. Netto wordt er dan geen nieuw plutonium gevormd. Wel zal er een hoeveelheid kernsplijtingsafval in de vorm van splijtingsproducten worden geproduceerd. Van belang is ook dat met het plutonium een aanzienlijke hoeveelheid elektriciteit wordt opgewekt zonder CO_2 uitstoot. Voor hergebruik van al het plutonium dat door KCB is geproduceerd, is ongeveer vijftien jaar nodig, wat impliceert dat de centrale langer open zal moeten blijven dan tot 2004. Indien de MOX-belading van de kern hoger zou kunnen zijn – hiervoor is onderzoek noodzakelijk aangezien wellicht aanpassingen van de reactor nodig zijn – zou deze periode kunnen worden verkort.

Hergebruik van het Nederlandse plutonium in KCB moet dan ook worden gezien als een eerste stap in de richting van een strategie van recycling van de langlevende componenten uit het kernsplijtingsafval. Na een eenmalige recycling in KCB zijn er natuurlijk meer recyclingstappen nodig om het plutonium geheel onschadelijk te maken. De technologie die hiervoor nodig is

wordt momenteel in internationaal (Europees) verband ontwikkeld. Deze technologie is gericht op een totale versplijting zodat er geen plutonium in de ondergrond hoeft te worden opgeborgen. De beste bijdrage die Nederland momenteel hieraan kan leveren is, naast het uitvoeren van onderzoek, het eigen plutonium minstens eenmaal in KCB te recyclen. De veiligheid en de technische levensduur van de centrale staan dit niet in de weg. Ik hoop dat bij een volgende kabinetsformatie PvdA en VVD bespreekbaar maken dat de kerncentrale Borssele open blijft tot alle plutonium de wereld uit is, om te beginnen uit Nederland.

Vragen van onze eeuw

Bij de deur kreeg ik een button op: 'Flirt harder I'm a physicist'. Het was feest in Atlanta, ik heb mijzelf getrakteerd en ben naar de viering geweest van het honderdjarig bestaan van de Amerikaanse Natuurkundige Vereniging. Een gebouwencomplex als de Jaarbeurs vol met fysica en fysici. Bij een feest hoort ook een cadeau. Speciaal voor de middelbare scholen hebben de Amerikanen een poster gemaakt van anderhalve meter hoog en acht meter lang met een tijdas verdeeld in tien decaden waarop de ontwikkelingen van ons vakgebied staan. Wie langs de poster loopt die leest een sterk verhaal.

Eind negentiende, begin twintigste eeuw begon het bouwwerk van de klassieke natuurkunde enkele lelijke scheuren te vertonen. De toevallige ontdekking van radioactiviteit gaf het startsein voor de nieuwe fysica. Als het element polonium, gevonden door de in Polen geboren Marie Curie, straling uitzendt, verandert dit element spontaan in lood. In één klap maakte deze ontdekking een eind aan het Griekse geloof in ondeelbare atomen. Wat veroorzaakte het radioactief verval? Waarvan zijn atomen gemaakt? Welke krachten werken binnen in hen? Zulke vragen bleven aan het voorfront van de fysica in onze eeuw.

De poster toont hoe de twintigste eeuw begon met een stortvloed aan innovaties zoals het vliegtuig, de massaproductie van auto's en transatlantische radiocommunicatie. Ze veranderden de wereld, maar de veranderingen in de natuurkunde waren nog

veel radicaler. Ze brachten ons niet alleen een nieuwe stijl van leven maar een hele andere wijze van denken. De moderne natuurkunde rust op drie peilers: de kwantumtheorie, die atomen en hun kernen beschrijft, de speciale relativiteitstheorie, die gaat over ruimte en tijd, en de algemene relativiteitstheorie, die de zwaartekracht verklaart. De laatste twee zijn alleen te danken aan Albert Einstein. Toen tijdens de zonsverduistering van 1919 aangetoond werd dat licht van de sterren wordt afgebogen door de zon, zoals voorspeld door zijn algemene relativiteitstheorie, werd Einstein een internationale mediaster. Sindsdien heeft de relativiteitstheorie de weg gewezen naar een reeks ontdekkingen in de kosmos en is ons beeld van het heelal drastisch veranderd. Wie op de website van de vereniging inlogt kan chronologisch de hele reeks voorbij laten komen. De jaartallen worden herkenbaar geïllustreerd met foto's van schilderijen van Van Gogh en architectuur van Rietveld uit het betreffende tijdperk. Een goed idee, want natuurkunde is slechts één van onze cultuurdomeinen.

In de atomaire wereld heerste verwarring, het atoommodel van Niels Bohr bleek maar zeer beperkt bruikbaar tot Louis de Broglie in 1923 voorstelde dat elektronen een golfkarakter hebben en hij een formule bedacht voor de golflengte. In de winter van 1925-1926 slaagde Erwin Schrödinger erin een golfvergelijking op te stellen waarvan de Broglie's golven de oplossingen bleken te zijn. De specifieke kleuren, die door stralende materie worden uitgezonden, ontstaan door het feit dat elektrongolven in atomen specifieke frequenties hebben, net als geluidsgolven in een fluit. Vanaf dat moment werd duidelijk dat de klassieke mechanica van Newton vervangen moest worden door kwantummechanica, in ieder geval voor de atomaire wereld. Met zijn golf/deeltje-karakter en de door Heisenberg ontdekte onzekerheidsrelatie is de kwantumtheorie een nog grotere breuk met de klassieke fysica dan de relativiteitstheorie, en ook een theorie die

driekwart eeuw van experimenteren heeft overleefd.

De ontdekking van het neutron betekende het begin van de kernfysica en van de ontwikkeling van de atoombom, die mede een eind maakte aan de Tweede Wereldoorlog maar ook het begin was van de Koude Oorlog. Sindsdien wordt fysica bedreven in grote researchlaboratoria met militaire, civiele of commerciële doelen. Het resultaat is een snelle opeenvolging van fundamentele ontdekkingen, een revolutionaire ontwikkeling van technieken en een computerindustrie die inmiddels groter is dan de autobranche en de chemie naar de kroon steekt. Thans bestrijkt de natuurkunde vijfenveertig machten van tien, van het allerkleinste, de quark, tot de grenzen van het heelal. De moderne natuurkunde tracht deze uitersten bijeen te brengen in de theorie van de oerknal. De ontdekkingen van de transistor en de laser hebben geleid tot micro-elektronica, telecommunicatie en consumentenproducten die onze samenleving drastisch veranderen. De poster laat duidelijk zien hoe onze moderne technologie ook de gezondheidszorg fundamenteel gewijzigd heeft en daarmee onze levensstandaard en levensverwachting.

Om belangstelling voor onderzoek te wekken bij de middelbare scholieren eindigt de poster met nog onbeantwoorde vragen uit de natuurkunde van de afgelopen eeuw: Hoe is tijd begonnen? Kan bewustzijn verklaard worden in termen van elektrische stromen en neurale netwerken? Kan kwantummechanica begrepen worden? Zal het heelal voor altijd uitdijen? Waar komt massa vandaan? Hoe moeten we turbulentie beschrijven? Hoe is leven begonnen? Wat is donkere materie?

Ik zou de jonge generatie ook andere uitdagingen meegeven naar de volgende eeuw: Zijn budgetten voor wetenschap en defensie te ontkoppelen? Wat doen we met het radioactief afval dat we hebben geproduceerd? Is het broeikaseffect te voorkomen? Is een op duurzaamheid gebaseerde technologie en economie wereldwijd haalbaar?

Het staat niet in de sterren

De astroloog in *De wetten* van Connie Palmen was gokverslaafd. Jaren achtereen noteerde hij bij elke stand van de sterren welke cijfers geluk brachten op de roulettes in het casino van Monaco. Ik heb, denk ik, deze astroloog een keer op bezoek gehad. Met dikke boeken vol aantekeningen kwam hij aanzetten en probeerde mij ervan te overtuigen dat in de sterren staat wat in Monte Carlo de winnende cijfers zijn. Ik geloofde hem niet en om hem dat op een nette manier duidelijk te maken bedacht ik een experiment. Ik stelde voor dat wij een proef zouden doen met twee roulettes naast elkaar waarin wij precies tegelijk twee balletjes zouden laten vallen. Als de astroloog gelijk had zouden de twee roulettes heel vaak hetzelfde cijfer moeten geven, veel vaker dan men op grond van statistische argumenten mocht verwachten, immers voor beide roulettes is de stand van de sterren gelijk. De astroloog beloofde met twee roulettes terug te komen maar ik heb hem nooit meer gezien. Later las ik bij Connie Palmen over zijn tragisch lot.

Ik lees geen horoscopen, ik lees *Zenit*. Al zesentwintig jaar kijk ik reikhalzend uit naar dit maandblad voor sterrenkunde, weerkunde en ruimteonderzoek en met ongeduld, ja zelfs met enige nerveuze spanning, heb ik de laatste tijd in mijn brievenbus gekeken tot het decembernummer er lag, waarvan ik de inhoudsopgave al op de website had gezien. Nu ik ook het laatste nummer van dit millennium gelezen heb, ben ik pas echt helemaal gerustgesteld.

Net als alle eerdere *Zenits* staat ook het decembernummer vol met fraaie foto's en goed geschreven artikelen van professionals en amateurs. Het bijzondere van de weer- en sterrenkunde is dat er naast de professionele onderzoekers duizenden amateurs zijn die alle verschijnselen in onze hemel en dampkring nauwlettend in het oog houden en dat al honderden jaren. *Zenit* is hun clubkrant, daarin worden de laatste vindingen van NASA en ESA en de nieuwste theorieën over het heelal uitgelegd voor leken. *Zenit* had de mooiste foto's en verhalen van de zonsverduistering. Men kan er ook lezen over het weer van de laatste maand, over historische expedities en over grote en kleine sterrenkundigen en hun ontdekkingen. *Zenit* geeft de avond- en ochtendhemel, tabellen van zon, maan en Jupiter, besprekingen van boeken en cd-roms, nieuws van sterrenwachten, kalenders van verenigingsactiviteiten en korte berichten. De auteurs zijn niet alleen wetenschapsjournalisten maar ook professionele onderzoekers die de moeite nemen hun vindingen voor leken begrijpelijk uit te leggen. Dat is traditie in de weer- en sterrenkunde en de kwaliteit is hoog, daar kan geen andere club tegenop. Op de voorplaat van het decembernummer staat een schitterende opname, gemaakt door de Hubble-telescoop, van twee sterrenstelsels in innige omhelzing.

In het openingsartikel vertelt Bill Keel van zijn speurtocht naar jonge sterrenstelsels. Dankzij de moderne middelen kunnen wij nu diep in het heelal en dus terug in de tijd kijken en zo is ontdekt dat die jonge stelsels veel compacter waren dan de theorie tot nu toe voorspelde. En dat sluit naadloos aan bij het glasheldere verhaal van professor Kees de Jager die uitlegt wat Einstein eens zijn grootste blunder noemde en wat een van de grootste ontdekkingen van vorig jaar was: de versnelde uitdijing van het heelal, waarvan zojuist nog weer een heel nieuw bewijs is gevonden. Ook de korte bijdragen over het weer in oktober van D. Heijboer en Rob van Dorland (de laatste publiceerde deze

maand ook nog een indrukwekkend proefschrift over het broeikaseffect en het klimaat) zijn goed geschreven, net als de bespreking door Govert Schilling van een cd-rom waarmee je van je computerscherm een planetarium kan maken.

Het zijn interessante verhalen, maar wat mij zo geruststelde waren twee artikelen over het millennium. Het eerste ging over de dageraad, de eerste zonsopkomst in het nieuwe millennium. Degenen die dit wilden beleven, adviseerde *Zenit* een plekje met zicht op de datumgrens in de Stille Oceaan, op het Caroline-atol in de republiek Kiribati. *Zenit* rekende u precies voor waarom.

Het tweede artikel ging over het andere millenniumprobleem. *Zenit* schrijft: 'Hoewel strikt genomen de eenentwintigste eeuw (en het derde millennium) van de christelijke jaartelling pas een jaar later begint (op 1 januari 2001), zal het overgrote deel van de mensheid het moment waarop zij drie negens in drie nullen zien veranderen als een van de meest onvergetelijke momenten van hun leven willen ervaren.'

Wat stelde mij nou zo gerust in deze artikelen? Dat op dat moment de wereld niet verging. Het stond niet in de sterren. Alles wat in de sterren staat, staat in *Zenit*.

Theorieën van Alles

Wat zal er gebeuren als we de film van de evolutie weer helemaal naar het begin terugdraaien, tot aan de oerknal, en opnieuw afspelen? Komen we dan op het punt uit van vandaag? Zullen wij mensen dan ook weer op het witte doek verschijnen in een gedaante waarin wij onszelf herkennen? Het gaat er niet om of alles precies op hetzelfde tijdstip en op exact dezelfde wijze gebeurt, het mag best een beetje eerder of later zijn en ook een klein beetje anders verlopen. Waar het om gaat is of de evolutie zich als een wetmatigheid zal voltrekken met als noodzakelijk resultaat de toestand van vandaag.

Als het antwoord ja is, dan gaat alles kennelijk volgens een raderwerk waarvan niet alleen het verleden maar ook de toekomst vastligt. Dan is alles gedetermineerd, niet alleen de evolutie van het heelal maar ook de wereld- en mensheidgeschiedenis, volgens wetmatigheden waar wij zelf geen invloed op kunnen uitoefenen. Is er dan nog sprake van een vrije wil? En van verantwoordelijkheid?

Als het antwoord nee is, als de film van de evolutie in reprise gaat maar een heel ander verloop heeft, is het dan allemaal slechts toeval?

Volgens de paleontologen heeft de inslag van een grote meteoor op onze aarde een eind gemaakt aan het leven van de dinosaurus. Pas toen deze uitgeroeid was kreeg de mens een kans. Ten

tijde van de dinosaurus bestonden er alleen zoogdieren die klein genoeg waren om zich te verschuilen. Door een toevallige ontmoeting van onze aarde met een meteoor ontstond zoveel stof dat vrijwel alle diersoorten en zeker de grote dinosaurus het leven lieten. Pas na deze botsing en de massale vernietiging in 'Jurassic Park' kon de mens uit de evolutie van de wereld tevoorschijn komen. Dankzij een schitterend ongeluk.

Toch hebben wij mensen behoefte aan een Theorie van Alles, een scheppingsverhaal, geschiedenis in het groot. Wij willen niet alleen weten hoe het hele universum tot stand is gekomen, maar ook waarom. Het liefst hebben wij een allesomvattende verklaring, een paar basisgegevens en een formule die klopt met de geschiedenis van de wereld, het ontstaan van het leven en van de mens. Wetmatigheden waarmee niet alleen het verleden maar ook de toekomst voorspeld wordt.

Intuïtief lijkt het of de wereld bestaat uit elementaire deeltjes, zodat alles is opgebouwd uit deze bouwstenen en alle verschijnselen in het universum in principe te verklaren zijn uit de eigenschappen van deze bouwstenen en hun wisselwerking. Als dit waar was en als wij de elementaire deeltjes en hun interacties zouden kennen dan hadden wij een Theorie van Alles. Dit reductionisme veronderstelt dat de dingen of gebeurtenissen op een bepaald niveau te reduceren zijn tot elementaire bouwstenen een niveau lager. Wij mensen zijn te reduceren tot neurologie, genetica en biologie. Die worden weer gereduceerd tot biochemie, biochemie tot het gedrag van moleculen, moleculen tot atomen en atomen tot elementaire deeltjes. Dit reductionisme is als onderzoekprogramma nuttig en belangrijk gebleken, vooral in de kosmologie en de evolutiebiologie, maar is er een goede reden om aan te nemen dat reductionisme tot het laagste niveau haalbaar is?

De fysici van de negentiende eeuw dachten dat hun vak bijna

klaar was. In 1820 schreef Pierre Simon de Laplace over een intelligent wezen met oneindige mathematische gaven, dat op een bepaald moment de positie en de beweging van alle deeltjes in het universum leert kennen. Zo'n wezen zou met deze gegevens en de wetten van de klassieke mechanica de toekomst van het heelal tot in detail en op willekeurige momenten kunnen berekenen.

De chaostheorie van de twintigste eeuw leert ons echter dat de toekomst van drie of meer deeltjes, die elkaar aantrekken of afstoten, in principe onvoorspelbaar is. Je zou denken dat wij de beweging van de aarde en andere planeten in het zonnestelsel zo goed kennen dat als wij op het juiste moment een raket lanceren deze vanzelf op Venus of Saturnus zal aankomen. In de praktijk meet NASA voortdurend waar hun satelliet zich bevindt en worden stuurraketten gebruikt om de baan te corrigeren en chaotisch gedrag te voorkomen. Dat is de enige manier waarop de satelliet een verre planeet kan bereiken.

Heisenberg heeft ontdekt dat wij van een deeltje nooit met zekerheid zowel de plaats als de snelheid kunnen weten. Als we de snelheid van een deeltje nauwkeurig meten zullen we dat over een bepaald traject moeten doen. Daarmee is de exacte positie van het deeltje onbepaald, want uitgesmeerd over het traject waarin we de snelheid meten. De onzekerheidsrelatie van Heisenberg vormt de basis van de moderne fysica.

'God dobbelt niet,' riep Einstein wanhopig uit, maar de atoomfysica heeft laten zien dat puur toeval een belangrijke rol speelt in de natuur. Wij kunnen tegenwoordig experimenten doen met maar één atoom. Als dit beschenen wordt met laserlicht van de juiste kleur, dan gaat het atoom zelf in alle richtingen licht uitzenden. We nemen een klein lichtvlekje waar dat afkomstig is van één atoom. Soms is dat met het blote oog te zien. Kiezen we nu een atoom uit dat laserlicht een tijdje kan opsparen in plaats

van onmiddellijk te gaan stralen, dan zien we het lichtvlekje van het atoom op willekeurige momenten aan- en uitgaan. Het is alsof een onzichtbare hand aan de schakelaar zit. Wanneer deze onzichtbare hand de schakelaar omzet wordt door niets bepaald en door niemand beslist. Het is puur toeval. De verschillen in de duur van de donkere periodes is in de meest zuivere betekenis een effect zonder oorzaak. Hier is het vreemde van de kwantummechanica met het blote oog te zien. Op basis van de kwantummechanica is de tijdsverdeling tussen licht en donker met grote nauwkeurigheid te berekenen, maar het moment waarop het lichtvlekje donker wordt is volstrekt willekeurig. Het gaat steeds om hetzelfde atoom dat steeds identiek hetzelfde licht opvangt en uitzendt. Het atoom vertoont in identieke situaties verschillend gedrag en de verschillen in tijd hebben geen oorzaak. God lijkt hier dus echt te dobbelen.

Hoe zit het nu met de stenen? Is alles te reduceren tot het gedrag, zij het chaotisch of onvoorspelbaar gedrag, van bouwstenen? Is de natuur wel opgebouwd uit, te reduceren tot, enkele elementaire deeltjes? Laten we, om deze vraag te beantwoorden, het oudste en meest bekende elementaire deeltje als voorbeeld nemen: het elektron.

Het elektron is een puntdeeltje. Dat wil zeggen, het heeft geen uitgebreidheid, het is oneindig klein. Toch heeft het massa. Hoe kan een deeltje wel massa hebben terwijl het geen omvang heeft? Einstein heeft laten zien dat massa en energie equivalent zijn: $E=mc^2$. Het elektron vertegenwoordigt dus een bepaalde hoeveelheid energie. Als het elektron zijn antideeltje, het positron, ontmoet verdwijnen beide en blijft er slechts een lichtflits over.

Om het gedrag van het elektron in het atoom te verklaren moest men aannemen dat het geen deeltje is maar een golf. Het bewijs voor het golfkarakter van het elektron leverden Davisson en Germer die elektronen verstrooiden aan een nikkelkristal en

dezelfde interferentieringen zagen als bij de diffractie van röntgenstraling.

In een recente samenwerking tussen Philips en de Technische Universiteit Delft is ontdekt dat het transport van elektronen door een nauwe opening sprongsgewijze verloopt. Als het kanaaltje waar de elektronen door moeten heel nauw is, ter grootte van de golflengte van de elektronen, zal er interferentie optreden. Maakt men het kanaaltje een klein beetje breder, dan kunnen er niet meer elektronen door. Pas wanneer de breedte gelijk is aan een geheel aantal malen de golflengte van de elektronen, neemt de stroom sprongsgewijs toe.

In het ene experiment gedraagt het elektron zich als golf, in het ander als deeltje, maar het elektron is golf noch deeltje. Het is een 'elektron', en dat woord staat voor al onze ervaringen in experimenten met elektronen. Hetzelfde geldt voor andere zogenaamde elementaire bouwstenen der natuur, zoals de beroemde quarks.

Tijdens de oerknal kwam materie voor het eerst tevoorschijn in de vorm van quarks en anti-quarks, althans dat beweert de kosmologie. Daarna speelde de film van de evolutie zich af, met het bekende resultaat. In principe moet er tijdens de oerknal net zoveel materie als antimaterie geproduceerd zijn. Het is vreemd dat wij van de antimaterie uit de oerknal niets terugzien in ons heelal. De kosmologie stelt dat al heel vlug, 10^{-12} seconden, na de Big Bang een asymmetrie tussen materie en antimaterie is ontstaan. Zo kort na de oerknal was de dichtheid van materie nog te groot, zodat hieruit geen straling kon ontsnappen. De theorie valt daardoor niet te verifiëren. Als we de film van de evolutie tot hier terugdraaien hebben we een probleem, want dan blijkt dat het begin ontbreekt.

Het reductionisme moge als onderzoekprogramma nuttig zijn geweest, het idee dat complexe verschijnselen op een be-

paald niveau in de natuur te verklaren zijn op basis van de bouwstenen een niveau lager, blijkt onhoudbaar. Niet alleen omdat het allerlaagste niveau onbereikbaar is als een wijkende horizon. Het reductionisme negeert dat er vanuit het hogere complexe niveau een werking uitgaat naar het lagere, waardoor de bouwstenen op het hogere niveau zich anders gedragen dan beneden. In botsing met een macroscopisch object, zoals een nikkelkristal, gedragen elektronen zich anders dan in vacuüm. Het collectieve gedrag van atomen is essentieel voor de werking van een laser en fundamenteel verschillend van het gedrag van individuele atomen.

Een ster is weliswaar een hoop atomen, maar door de zwaartekracht binnen in de ster worden de atomen tot kernfusie gebracht en ontstaan zwaardere elementen. Een ster is dus een proces in plaats van een verzameling losse atomen.

In principe bestaan de oceanen uit ontelbaar veel druppels water, maar geen oceanograaf zal het in zijn hoofd halen om het gedrag van oceanen te verklaren op basis van de kenmerken van een waterdruppel. In een druppel zitten 10^{23} moleculen water, dat is veel meer dan er waterdruppels zijn in alle oceanen bij elkaar. Waarom zouden dan de kenmerken van een waterdruppel wel af te leiden zijn uit die van het watermolecule? Bovendien zijn in een waterdruppel de moleculen heel anders gestructureerd dan losse moleculen H_2O. Het geheel is meer dan de som der delen.

Hoewel in de natuurkunde van deze eeuw de principiële onmogelijkheid van het reductionisme is aangetoond, blijft een Theorie van Alles de heilige graal van dit vak. Door de scheiding tussen de verschillende wetenschapsgebieden reduceert men ook in andere disciplines binnen de eigen grenzen.

– De kosmologie reduceert het heelal tot elementaire deeltjes in een oerknal.

– De biologie reduceert het leven tot stofwisseling, en organismen tot cellen.
– Het Darwinisme reduceert de evolutie tot het overleven van de sterksten.
– De genetica reduceert de mens tot zijn genen.
– De neurologie reduceert de hersenen tot neuronen.
Zo is er niet één Theorie van Alles maar zijn er dus Theorieën van Alles. Wat zij gemeen hebben zijn de beloftes en de beperkingen van wetenschappelijke formuleringen.

Sigmund Freud heeft opgemerkt dat de grote ontdekkingen in de wetenschap de mens een steeds bescheidener plaats in het universum hebben gegeven.

Sinds Copernicus bevinden wij ons niet meer in het middelpunt van het heelal.

Sinds Darwin stammen wij af van de apen.

Sinds Freud zelf weten wij hoezeer de mens beïnvloed wordt door zijn onderbewustzijn in plaats van door het redelijk verstand.

In de *Scientific American* van november 1994 zet Stephen J. Gould de mens op een nog bescheidener plek op aarde. In een reprise van de film der evolutie zal volgens Gould de mens hoogstwaarschijnlijk niet nog een keer voorkomen. Pas als de evolutie zich een groot aantal keren opnieuw zou voltrekken is er kans op de mens.

Als wij slechts het resultaat zijn van een schitterend ongeluk, en de zoektocht naar de allesomvattende verklaring een tocht is naar een wijkende horizon, waarnaar moeten wij dan wel op zoek? Vanwaar toch onze behoefte aan een Theorie van Alles, een scheppingsverhaal, geschiedenis in het groot? Het liefst hebben wij een allesomvattende verklaring die klopt met de geschiedenis van de wereld. Wetmatigheden waarmee niet alleen

het verleden maar ook de toekomst voorspeld wordt. Dat is de functie van Theorieën van Alles.

Uit dode materie kwam leven op aarde. De evolutie produceerde, zij het per ongeluk, de mens met zijn hersenen en zijn bewustzijn. Daarmee kunnen wij onze eigen evolutie een beetje bijsturen, zoals de NASA dat doet met zijn satelliet onderweg in het zonnestelsel. Voortdurend de positie meten en bijsturen. Om te ontkomen aan chaotisch gedrag. 'Not only nice to know, also the need to know.' Onze hersenen maken wetenschappelijk onderzoek mogelijk en het creëren van Theorieën van Alles. Ons bewustzijn helpt ons als verantwoordelijke mensen een leefbare samenleving tot stand te brengen, in het belang van onszelf en dus van ons voortbestaan.

Waartoe wetenschap?

Om te overleven.

Wat is wetenschap?
Een psychologische behoefte,
een hobby.

Het siliciumtijdperk

Na de steen-, brons- en ijzertijd beleven wij thans het siliciumtijdperk. Ons dagelijks leven wordt beïnvloed door een klein schilfertje silicium, de chip, die geestdodende arbeid overneemt en nieuwe banen schept. Ook in natuurkundig onderzoek heeft de chip een omwenteling veroorzaakt. Silicium is zelf een van de belangrijkste onderwerpen van onderzoek. Experimenten zonder elektronica en informatica zijn ondenkbaar in deze tijd en computersimulaties komen in de plaats van het traditionele 'Gedanken-experiment'. Dit zal ik illustreren met voorbeelden uit het fundamenteel onderzoek der materie. Het zal gaan over onderzoek voor, met en in computers. Daarna wil ik beschrijven hoe de veranderingen in het siliciumtijdperk leiden tot significante verschillen in het onderzoek in Rusland, de VS, Japan en ons eigen land, verschillen die veroorzaakt worden door lokale, economische, politieke en militaire factoren.

Olie kan je uit de grond halen, maar de computer, de tv en de telefoon zijn het resultaat van veel onderzoek en ontwikkeling. De grootste en beste researchlaboratoria ter wereld zijn eigendom van AT&T, IBM, Philips, Hitachi en andere elektronische industrieën. Zij hebben ieder vele duizenden onderzoekers en technische specialisten in dienst die werken aan de volgende generaties chips, lasers, detectoren en sensoren die worden toegepast in consumentenelektronica, in auto's, in professionele instrumen-

ten, in raketten en ander wapentuig. 'Big science for big business.'

De micro-elektronica, de chip, bestaat voor een belangrijk deel uit het materiaal silicium. Geen wonder dat over dit materiaal heden ten dage meer wetenschappelijke publicaties en patenten verschijnen dan over enig ander materiaal. Er is zelfs een heel nieuw gebied van onderzoek ontstaan: de fysica en chemie van vaste-stofoppervlakken. Complete elektronische schakelingen en grote geheugens worden opgebouwd in en op het oppervlak van een schijfje silicium. Hiertoe worden vreemde atomen in het siliciumoppervlak aangebracht die de elektrische eigenschappen van het oppervlak beïnvloeden en bepaalde plekken geleidend of juist isolerend maken. Dit vereist dat men precies weet welke atomen in het oppervlak aanwezig zijn en hoe ze ten opzichte van elkaar gerangschikt zitten. Het blijkt dat dezelfde fysische meetmethoden die ontwikkeld zijn om het binnenste van de materie te kunnen bestuderen, ook heel goed van pas komen bij de fysica en chemie van het silicium oppervlak. Met de apparatuur en de meettechnieken uit de atoom- en kernfysica kan de structuur en samenstelling van oppervlakken op atomaire schaal in kaart worden gebracht.

Dezelfde deeltjesversnellers die na de oorlog ontwikkeld zijn door kernfysici voor de studie van de atoomkern, worden thans benut voor het maken van chips. Hiermee kan men de juiste atoomkernen in het oppervlak van een plakje silicium naar binnen schieten, precies op de plaats waar deze atomen gewenst zijn, teneinde een speciale elektrische eigenschap in het oppervlak te verkrijgen. Zo heeft men geleerd om atomen te manipuleren met een ongekende controle en nauwkeurigheid. Niet alleen deeltjesversnellers, ook lasers, plasma's, molecuulstralen en elektronenmicroscopen zijn tot het gereedschap gaan behoren van de moderne micro-elektronica. Hiermee worden thans enkele miljoenen elektronische schakelingen gefabriceerd op een

paar vierkante millimeters silicium. De elektronische industrie is nog lang niet verzadigd in dit opzicht en men vraagt de onderzoekers steeds meer en steeds ingewikkelder schakelingen op een siliciumplak aan te brengen. Zo is de submicrontechnologie ontstaan, die het mogelijk maakt om de volgende generatie computers te bouwen.

Niet alleen computers worden gemaakt met deze nieuwe fabricagemethoden, ook andere producten profiteren hiervan. Dankzij de submicrontechnologie wordt de hoeveelheid informatie op magneetbanden en cd-schijven vergroot, het oplossend vermogen van videocamera's en van tv's wordt sterk verbeterd, platte televisieschermen en nieuwe telecommunicatieapparatuur worden mogelijk gemaakt. Trouwens, niet alleen de micro-elektronica profiteert van de ontwikkelingen in de oppervlaktefysica, ook de chemische industrie kan voordeel hebben van een beter begrip van chemische reacties aan een oppervlak. Dit is bijvoorbeeld van belang in katalysatoren. Oppervlaktebehandeling kan ook metaaloppervlakken harder maken en hun weerstand vergroten tegen corrosie en slijtage. Daarom levert de fysica en chemie van oppervlakken ook nieuwe producten op voor de metaal- en de chemische industrie.

De submicrontechnologie is ook een eigen leven gaan leiden en fysici, chemici en elektronici hebben zichzelf de vraag gesteld: waar ligt de grens, tot hoever kunnen wij gaan met miniaturisering? In het fundamenteel onderzoek worden thans experimenten gedaan met één atoom, één molecule of één elektron en één lichtdeeltje, een foton. Dit is mogelijk geworden dankzij de ontwikkelingen in de micro-elektronica en de ongekende controle op atomaire schaal van de fabricage van nieuwe instrumenten en materialen. Hier bereiken wij ook een fundamentele limiet die gegeven wordt door de onzekerheidsrelatie uit de kwantummechanica. Men maakt op het ogenblik al schakelaars die zo klein zijn dat zij slechts één elektron tegelijk doorlaten. In

principe zou zo'n schakelaar buitengewoon weinig vermogen verbruiken en heel snel kunnen schakelen. Volgens de kwantummechanica is het echter onmogelijk om te voorspellen wanneer de schakelaar precies zal schakelen nadat hij is opengezet. Wij kunnen voor een elektron de poort openzetten en wij kunnen bepalen welke tijd er verstrijkt voordat het elektron door de poort gaat. Ook kunnen wij de schakelaar een groot aantal keren laten schakelen en de gemiddelde schakeltijd meten, maar voor ieder individueel elektron kunnen wij niet van tevoren met zekerheid zeggen hoe lang het erover zal doen voordat het door de poort gaat. Dat maakt 'kwantumelektronica' onbetrouwbaar. Daarom zal het voorlopig wel een interessant onderwerp blijven voor fundamenteel onderzoek, maar of het ooit zal leiden tot de toepassing van kwantumschakelaars, dat is zeer twijfelachtig.

Niet alleen de lokettist en de secretaresse, maar ook de wetenschappelijk onderzoeker brengt grote delen van de dag door achter het toetsenbord van een computer. Moderne experimenten worden via de computer bediend. De computer voert de metingen uit, volgens een programma dat door de onderzoeker van tevoren is opgegeven. De computer slaat de gegevens op in het geheugen, voor verdere verwerking na afloop van het experiment. Dit gebeurt vooral omdat de computer veel meer tegelijkertijd kan doen en veel nauwkeuriger is dan de onderzoeker. De computer maakt experimenten mogelijk die anders volstrekt ondenkbaar zouden zijn.

Een voorbeeld is de raster-tunnelmicroscoop waarmee de structuur van een oppervlak op atomaire schaal door een computer in beeld wordt gebracht. Wie naar het computerscherm van de microscoop kijkt, denkt rijen van individuele atomen te zien. Toch is dat maar schijn en wordt het beeld op een ingenieuze manier door de computer gegenereerd.

De microscoop tast het oppervlak af, net als in een ouderwetse

grammofoon, met een fijne naald en meet de 'tunnelstroom' tussen de naald en het oppervlak. Wat die 'tunnelstroom' is, weten wij niet precies. Het is een minuscuul stroompje van elektronen, die overspringen van het oppervlak naar de naald als deze zich vlak boven een atoom bevindt. Dat is eigenlijk heel vreemd, want de elektronen horen bij het oppervlak. Als ze daar zomaar uit konden springen, dan bestond het oppervlak niet. De elektronen zijn dus gebonden aan het oppervlak. Maar als de naald zich vlak boven een atoom bevindt, dan voelt het elektron kennelijk de naald en heeft het een kans om daar naartoe over te springen, te 'tunnelen'. Wij kunnen dit alleen verklaren met de kwantummechanica, door aan te nemen dat het elektron zich gedraagt als een golf met een golflengte die net iets buiten het oppervlak uit kan steken. Zodra de naald het oppervlak zo dicht genaderd is dat de afstand kleiner is dan de golflengte van het elektron, dan voelt het elektron de naald en kan het ernaartoe 'tunnelen'. Alsof er een kort tunneltje bestaat tussen het oppervlak en de naald, waar het elektron doorheen kan. Zoals een vrachtauto door een tunnel in de Alpen van het ene dal naar het andere gaat. Natuurlijk is dit maar een beeld, want er is geen echte tunnel, ook niet voor het elektron. Wat er zich op atomaire schaal afspeelt kunnen wij niet zien. Toch stelt de computer ons in staat het proces van tunnelen te gebruiken en een beeld te maken, in kleur, van atomen in een oppervlak.

De afstand tussen de naald en het oppervlak kunnen wij niet meten, deze wordt gecontroleerd door de computer, die ook de elektronenstroom meet. Met deze gegevens maakt de computer een plaatje op het beeldscherm. Het is dus de tunnelstroom die wij zien, als functie van de plaats van de naald boven het oppervlak, maar het lijkt net of we individuele atomen zien. Dat komt omdat het computerscherm een plaatje geeft dat grote gelijkenis vertoont met het beeld dat wij in ons hoofd hebben van atomen, hoe ze gerangschikt zijn in het oppervlak van een kristal. Omdat

ons geestesoog en het computerbeeld zo mooi met elkaar overeenstemmen, herkennen wij het toch, ook al begrijpen wij eigenlijk niet wat de computer ons laat zien. Hierin schuilt ook het gevaar dat wij onszelf of anderen voor de gek houden met deze beelden.

De computer is niet alleen een nieuw gereedschap waarmee wij experimenten kunnen doen die tot nu toe onmogelijk waren, maar de computer beïnvloedt ook de richting van ons onderzoek. De computer en de micro-elektronica, waarmee de raster-tunnelmicroscoop verbonden is, kunnen de meetresultaten zo snel verwerken dat men tien beelden per seconde kan maken van een stukje van een kristaloppervlak. Dus is het mogelijk video-opnamen te maken van de beweging van rijen atomen over het oppervlak. Door deze videobeelden raken de onderzoekers gebiologeerd door de dynamica van het oppervlak, de beweging van atomen, in plaats van door statische structuurverschijnselen van het oppervlak. De computer schept nieuwe mogelijkheden voor nieuwe experimenten en daarmee raken deze experimenten in de mode en verdringen andere wetenschappelijke vragen waarvoor geavanceerde computers niet strikt noodzakelijk zijn.

Men kan ook met computers experimenteren zonder dat ze verbonden zijn met een meetinstrument. De rekenmachine staat dan alleen, los van andere apparatuur, en de onderzoeker bedient via het toetsenbord een programma dat draait in de computer. Zo kan men onderzoek doen binnen in de computer.

Er zijn twee soorten van onderzoek die men in de computer kan doen. Men kan de eigenschappen van nieuwe materialen berekenen door bestaande materiaalgegevens uit verschillende computerbestanden op te roepen, met elkaar te combineren en door te rekenen. Zo kan bijvoorbeeld de structuur van polymeren of eiwitten uitgerekend worden nog voordat ze gemaakt

zijn. Ook kan men uitrekenen hoe verschillende materialen zich zullen gedragen onder extreme omstandigheden. Men kan uitrekenen of bepaalde legeringen wel stabiel zijn bij toepassing van heel hoge temperatuur, of druk, of radioactieve straling. Men kan materialen testen onder gevaarlijke omstandigheden zonder dat men deze hoeft na te bootsen in het laboratorium. Pas als men via computersimulaties geleerd heeft hoe men het beste te werk kan gaan, wordt een echte proef gedaan.

Er is een tweede soort computersimulaties. Hier gaat het om het testen van een theorie in de computer. Dit is nog het beste te vergelijken met een 'Gedanken-Experiment', zoals dat in de natuurkunde heel populair is geweest, bijvoorbeeld in de discussies tussen Bohr en Einstein over de kwantummechanica. Men bedenkt een experiment en probeert op puur theoretische gronden te beredeneren wat de uitkomst zal zijn. Zolang zo'n experiment nog eenvoudig is, kunnen wij het simuleren in onze hersenen. Meer ingewikkelde 'Gedanken-Experimenten' worden gesimuleerd in de computer. Dit biedt ook de interessante mogelijkheid, omstandigheden in de computer te simuleren die niet in de natuur voorkomen maar ons toch nieuw inzicht verschaffen. Op deze manier worden in de computer opmerkelijke ontdekkingen gedaan, waarvan ik een voorbeeld wil geven.

Het gaat om vloeibare kristallen. Iedereen kent ze, want ze zitten in het beeldscherm van digitale horloges, zakrekenmachines en ook in platte tv-schermen. Vloeibare kristallen bestaan uit langwerpige moleculen in een oplossing. De moleculaire staafjes bewegen kriskras door elkaar maar kunnen onder bepaalde omstandigheden in de vloeistof geordend worden, allemaal dezelfde kant op gericht. Deze ordening wordt gebruikt bij het maken van afbeeldingen met vloeibare kristallen. Chemici stelden de vraag of een regelmatige rangschikking kan ontstaan louter en alleen doordat de staafjes elkaar in de weg zitten, elkaar afstoten. Volgens sommige chemici zou afstoten alléén niet voldoen-

de zijn en kan orde in het mengsel slechts ontstaan doordat de moleculen elkaar niet alleen in de weg zitten maar ook aantrekken. Op grote afstand vindt er meestal een aantrekking plaats. Nu kun je echte moleculen hun aantrekkingskracht niet gemakkelijk ontnemen, maar in de computer kan dat wel. Uit computersimulaties van het gedrag van gewone harde staafjes is vast komen te staan dat het voor het verkrijgen van orde in een vloeistof niet nodig is dat de moleculen elkaar aantrekken. Ze vertonen collectief gedrag, terwijl ze elkaar uitsluitend afstoten. Orde door afstoting is ontdekt dankzij onderzoek in computers.

Hoewel de veranderingen in de wetenschap ten gevolge van de chip zich wereldwijd voltrekken, zijn er significante verschillen tussen de verschillende werelddelen, die veroorzaakt worden door lokale, economische, politieke en militaire factoren. Onderzoek voor, met en in computers domineert in alle natuurkundige laboratoria ter wereld, behalve in Rusland. Tot een jaar of tien geleden was de voormalige Sovjet-Unie ook in de wetenschap een supermacht. Door de boycot van het Westen, vooral op het gebied van computers, zijn Russische geleerden hun leidende positie kwijtgeraakt. Hun wetenschappelijke publicaties worden niet meer gelezen, want ze gaan niet over dezelfde onderwerpen en materialen waar wij mee bezig zijn. Daar hebben zij de mogelijkheden niet voor. Hun experimentele opstellingen zijn hopeloos verouderd omdat ze nog steeds niet bediend worden door een computer. Hun theorie schiet tekort door de afwezigheid van numerieke methoden die per computer worden uitgewerkt. Van beroemde nationale researchlaboratoria als het Ioffe-instituut in St. Petersburg en het Lebedev-instituut in Moskou wordt nauwelijks meer iets vernomen. Duizenden onderzoekers die daar werken zijn gefrustreerd, niet alleen omdat zij met hun geringe salaris op de grens van de armoede leven, maar vooral omdat zij als wetenschapper niet meer meetellen in

vergelijking met hun collegae in het Westen.

De Verenigde Staten zijn de smaakmakers, ook van het siliciumtijdperk. Sinds de ontdekking van de transistor in AT&T Bell Labs, kort na de oorlog, is dit laboratorium samen met de researchcentra van IBM en van de Amerikaanse overheid gaan behoren tot de meest productieve wetenschappelijke centra ter wereld. Gezamenlijk en in gezonde competitie hebben deze laboratoria, en de Amerikaanse universiteiten, het onderzoek voor, met en in computers van de grond getild. Men realiseert zich echter niet altijd in hoeverre de richting van het onderzoek gedomineerd is door de militaire subsidies waarmee deze ontwikkeling betaald werd.

Tijdens de Tweede Wereldoorlog zijn Amerikaanse fysici buitengewoon effectief geweest met het ontwikkelen van de eerste kernwapens in het Manhattanproject. Dit heeft de politici het gevoel gegeven dat het loonde om de fysici bij elkaar en tevreden te houden. Zo ontstonden grote defensiebudgetten voor onderzoek, waarmee de onderzoekers nieuwe wapens ontwikkelden, maar ook zuiver wetenschappelijk werk konden doen. Zij deden dit zo succesvol dat zij de militairen telkens weer konden overtuigen van de noodzaak om nog weer grotere budgetten voor nog weer grotere research- en ontwikkelingsprojecten ter beschikking te stellen. Het meest recente programma is SDI, het geldverslindende ruimteschild dat Amerika moet beschermen tegen aanvallen met intercontinentale raketten. Met deze belofte is het geavanceerde onderzoek van de laatste tien jaar gefinancierd. Door zijn eigen succes is de natuurkunde in Amerika, op de universiteiten, de nationale researchcentra en in de industrie, afhankelijk geworden van defensiegeld.

Dit heeft de Amerikaanse natuurkundigen vervreemd van de maatschappij. Men doet vooral onderzoek aan onderwerpen die uit de wetenschap zelf zijn voortgekomen en die aan de militai-

ren verkocht kunnen worden als relevant voor het toekomstig 'electronic battlefield'. Zo is er gewerkt aan supercomputers en geavanceerde netwerken, in plaats van 'personal computers' en micro-elektronica voor consumentenproducten. Men heeft superintense lasersystemen ontwikkeld voor de militairen in plaats van kleine lasers voor cd-spelers. Men heeft nieuwe deeltjesversnellers ontwikkeld die satellieten van een dodende straal moesten voorzien, maar die vooral bruikbaar zijn in fundamenteel onderzoek.

De Koude Oorlog werd gewonnen en ongetwijfeld heeft de nauwe samenwerking tussen wetenschap en defensie daaraan een bijdrage geleverd. Maar de Amerikaanse natuurkunde is in een crisis terechtgekomen. Door het verlies van de grote vijand en vanwege het enorme tekort op de begroting van de overheid, wordt er bezuinigd op de defensiebudgetten. Nu zitten de universitaire hoogleraren zonder researchgeld. De nationale laboratoria hebben geen reden van bestaan meer. En de industrie was gewend risicovolle research- en ontwikkelingsprojecten af te schrijven op defensiecontracten, zogenaamd ten behoeve van de nationale veiligheid. Overheidssteun voor industriële producten is in Amerika immers taboe. Het wordt gezien als concurrentievervalsing en strijdig met het vrije ondernemerschap. Het gevolg is dat enerzijds vele onderzoekers werkloos worden, anderzijds Amerika zijn leidende positie in de micro-elektronica is kwijtgeraakt aan Japan.

Op de lijst van consumentenelektronica staan Matsushita en Sony bovenaan, dan volgen Philips en het Franse Thomson en dan Hitachi, Pioneer, Toshiba en andere Japanse bedrijven. Bij de eerste tien staat geen Amerikaan. Er wordt in de micro-elektronica meer geïnvesteerd in Japan dan in Amerika en veel meer dan in Europa. In Japan wordt een deel van de investeringen betaald door het ministerie voor internationale handel en industrie, MITI. De overige investeringen moeten worden gefinancierd

uit de winstmarges. Wij consumenten zijn niet bereid om grote bedragen te betalen en dus zijn de marges in de consumentenelektronica klein. Er is in Japan geen of vrijwel geen defensiebudget, waaruit ontwikkelingen betaald kunnen worden. Daarom gaat al het geld dat door de industrie verdiend wordt naar de ontwikkeling van nieuwe producten en blijft er geen geld over voor onderzoek. Fundamenteel, grensverleggend onderzoek van enige betekenis vindt men in Japan nauwelijks, daarvoor is geen geld en daarin heeft men ook geen enkele traditie. Dit verklaart waarom de Japanse natuurkunde zo middelmatig is, hoewel Japan marktleider is in de consumentenelektronica. Toch zal er niet veel nieuws uit dit land tevoorschijn komen zolang er geen grensverleggend onderzoek wordt gedaan.

In Europa is Nederland nog het enige land dat voor het maken van chips niet volledig afhankelijk is van het buitenland. ASMI uit Bilthoven en ASML uit Veldhoven maken de apparaten waarmee chips geproduceerd worden en leveren deze over de hele wereld, inclusief Amerika en Japan. En Philips is nog steeds een gigant in alle sectoren van de micro-elektronica. Dit is alleen mogelijk dankzij het grote aantal goed opgeleide mensen waaruit deze bedrijven kunnen putten. Mensen die aan de Nederlandse universiteiten en hogescholen zijn opgeleid in de elektrotechniek, halfgeleiderfysica of informatica. Veel Nederlandse studenten zijn zich bewust dat zij in het siliciumtijdperk leven. Zowel in het fundamenteel als in het toegepast onderzoek voor, met en in computers genieten Nederlandse ontdekkingen internationale bekendheid. Ook kwantitatief is de Nederlandse bijdrage aan het siliciumonderzoek groot.

In ons land trekt de informatietechnologie veel geld en talent aan, veel meer dan andere sectoren. Maar onze maatschappij heeft ook nog hele andere belangen. Om te kunnen overleven in de metaalsector zijn producten met een hogere toegevoegde

waarde nu al noodzakelijk. Dat betekent veel meer research en ontwikkeling, bijvoorbeeld in de micromechanica. In ons land zijn multinationale ondernemingen gevestigd op het gebied van de chemie. Het zou toch gewenst zijn dat deze industrieën net zo innovatief waren als de micro-elektronica. Maar de chemie zit in de verdomhoek van onze maatschappij. Van de micro-elektronica zou men kunnen leren hoe in ons land geld en talent zijn te mobiliseren voor radicale vernieuwing. Of kan men dat van de traditionele chemie niet meer verwachten en moet onze hoop gevestigd zijn op de ontwikkelingen in de moleculaire biologie en de groei van biotechnologiebedrijven? Er zijn nog andere maatschappelijke belangen zoals energie en milieu, waarin aanzienlijk meer innovaties gestimuleerd zouden kunnen en moeten worden.

De economische situatie maakt het voor het Nederlandse bedrijfsleven noodzakelijk zich te concentreren op de kernactiviteiten. Bij de industrie worden de laboratoria voor onderzoek en ontwikkeling gefocusseerd op problemen van vandaag en nieuwe producten voor morgen. Het onderzoek- en ontwikkelwerk wordt financieel steeds meer afhankelijk gemaakt en ten dienste gesteld van de bedrijfsresultaten. Het gevolg is dat nog maar weinig industriële researchlaboratoria zich fundamenteel onderzoek kunnen veroorloven en ontwikkelingen voor de lange termijn verwaarloosd dreigen te worden. Er is nu de neiging om de industrie te helpen door aan de universiteit onderzoek en ontwikkelwerk te gaan doen voor de markt, maar dat kunnen de industrieën veel beter zelf. Het is de taak van de overheid de voorwaarden te scheppen waarmee ons land in het fundamenteel onderzoek zijn vooraanstaande plaats behoudt. Een universiteit waarin de beste onderzoekers en technici hun opleiding krijgen en daarna doorstromen naar de maatschappij. Juist nu is het stimuleren van grensverleggend onderzoek noodzakelijk opdat ons land een goede positie zal innemen, ook na het siliciumtijdperk.

Een hype

We hadden het kunnen zien aankomen. Sommigen van ons hebben dat ook. We hebben eraan meegewerkt. En het werd voorspeld. Nu is het zover. Maar wie had dit verwacht, deze nieuwe bedrijven, deze nieuwe technologie die alles overheerst, die maakt dat degenen die zonder zitten nu wegzakken. Deze nieuwe economie, die niet bepaald wordt door de banken, de textiel-, de voedsel- of de olie-industrie maar door bedrijven in micro-elektronica, telecommunicatie, informatietechnologie, waarbij niet gehandeld wordt in goud, olie of staal, maar in chips, bits, bytes, en sites.

En Nederland is er klaar voor, voor de nieuwe economie. Kijk maar naar de beurs. De grootste stijgers zijn ASM, KPN, BESI, UPC, Getronics en Philips. Allemaal nieuwkomers, behalve de gloeilampenfabriek uit het zuiden des lands en die verdient het meeste geld niet met lampen maar met componenten voor de micro-elektronica en telecommunicatie-industrie. Wie had verwacht dat de totale beurswaarde van ASM Lythografie, de Nederlandse toeleverancier van apparaten voor de chipindustrie, zou uitstijgen boven de totale beurswaarde van onze bierbrouwer Heineken? Wie had verwacht dat de kassa's van ons aller grutter het af zouden leggen tegen de tikken van de telefoon, dat niet langer Ahold onze beurslieveling is maar de nieuwkomer KPN?

Een hype? Natuurlijk, maar zeg niet dat het wel over zal gaan,

misschien wel de hype van internet en 'dotcom', maar niet die van de nieuwe economie. Immers wij hebben hem zelf veroorzaakt. Wij van de micro-elektronicabedrijven, wij van de grote technologische instituten en wij van de universiteiten hebben er jaren geleden samen voor gezorgd dat computertechnologie een hype werd.

Wij zijn naar onze bazen in de bedrijven, de (semi)overheid en de universiteiten gegaan en hebben gepleit voor investeringen in nieuwe productiemiddelen, nieuwe laboratoria en nieuwe opleidingen want de computertechnologie kwam eraan. Wij zijn naar de media gegaan en hebben uitgelegd wat die nieuwe technologie zou betekenen voor de maatschappij. Wij zijn naar Den Haag gegaan en hebben gezegd dat er een nieuwe economie zou komen en dat wij de boot niet wilden missen. Wij zijn naar Brussel gegaan en hebben gevraagd om stimuleringsprogramma's, anders zou Europa het afleggen tegen Amerika en Japan. En het heeft gewerkt. Omdat we het samen deden werden we geloofd en hebben we investeringen gekregen voor nieuwe productiemiddelen, voor nieuwe laboratoria, voor nieuwe opleidingen, voor nieuwe studenten. Zo hebben wij van de bedrijven en van de (semi)overheid en van de universiteiten de computertechnologie opgebouwd en vormgegeven. Het heeft gewerkt omdat we samen werkten.

Zullen we het nog eens doen? Zullen wij van de bedrijven en van de (semi)overheid en van de universiteiten een nieuwe hype ontketenen? Waar gaan we voor? Zullen we nu eens kiezen voor een duurzame ontwikkeling? Zullen we weer naar onze bazen gaan en vragen om investeringen voor duurzame technologie, zullen we weer naar de media gaan en uitleggen wat duurzaam voor de maatschappij betekent, en bij de politici in Den Haag en Brussel duurzaamheid bepleiten in het belang van klimaat en economie? Zullen we een hype maken van duurzame technologie? We weten nu dat we het kunnen: Samen sterk voor duurzaam werk.

Een kwestie van beschaving[9]

Als wij vanuit de ruimte naar de aarde kijken, zien we dan een bolvormige kaars die voor de helft is opgebrand? Of een ruimteschip dat zijn uitlaatgassen loost in zijn eigen cockpit? Maken wij het klimaat op aarde willens en wetens onleefbaar voor generaties na ons? Zijn we sinds de industriële revolutie begonnen aan een mondiale suïcide?

Milieuactivisten blaken niet van optimisme. Toen de aarde opkwam aan de horizon van de maan, een van de meest opzienbarende beelden uit de eeuw die nu achter ons ligt, zagen wij voor het eerst de wervelende witte wolkenslierten boven de continenten, oceanen en ijskappen, de fijne schakering van zachtblauwe, groene en gele tinten tegen die pikzwarte achtergrond met fel stralende sterren. We zagen onze planeet eenzaam in een oneindig heelal. De milieubeweging maakte er al snel een cliché van. Hun reclameboodschap: een bolvormige kaars die langzaam maar zeker opbrandt.

Een manier om naar de ontwikkeling van de mens te kijken is zijn productiviteit te meten. Door gebruik te maken van de 'paardenkracht' van zijn vee vergrootte de boer zijn productiviteit met een factor tien. De ontdekking van waterkracht betekende nog eens een factor zes en de stoommachine gaf weer een extra orde van grootte. Het gebruik van gemotoriseerd vervoer reduceerde de reistijd enorm, ongeveer een factor honderd in vergelijking tot het paard, en vergrootte ook nog eens de mogelijkhe-

den om goederen naar de markt te kunnen brengen. De directe beschikbaarheid van overvloedige en goedkope energie verschaft velen een ongekend comfort, mobiliteit en productiviteit.

Sinds de eerste oliecrisis weten we dat de wereld beschikt over enorme voorraden fossiele energie. Het beeld van de omvang van de reserves is in de afgelopen decennia sterk gewijzigd. In de jaren zeventig en begin jaren tachtig wisten we zeker dat de voorraden snel op zouden raken. Inmiddels zijn met behulp van nieuwe winning- en exploratietechnieken grote reserves opgespoord en kunnen voorraden beter en goedkoper worden benut. De commercieel en technisch winbare reserves voor de komende vijftig jaar zijn twee keer zo groot als de cumulatieve vraag over dezelfde periode, uitgaande van een matige groei van de wereldbevolking en een economische groei van twee tot drie procent per jaar. De nog niet commercieel of technisch winbare reserve is nog eens vijfmaal de vraag en dan zijn clathraten, aardgas dat voorkomt in insluitsels op diepe zeebodems, niet meegenomen. Als deze winbaar worden, heeft de wereld naar verwachting voldoende fossiele brandstof voor vele honderden jaren. Hoewel het soms lijkt of onze bol in lichterlaaie staat, is onze kaars nog lang niet opgebrand.

Toegang tot en gebruik van grote hoeveelheden energie zijn niet gelijk verdeeld over de landen in de wereld, evenmin tussen arm en rijk binnen elk land. In de VS is het energiegebruik per hoofd van de bevolking dertigmaal het gebruik in Midden-Afrika. In de ontwikkelingslanden beschikt een minderheid over moderne vormen van energie, de meerderheid moet het nog steeds hebben van brandhout dat dagelijks gesprokkeld wordt. Twee miljard mensen, een derde van de wereldbevolking, zijn niet aangesloten op een lichtnet. Deze grote ongelijkheden zorgen voor sociaaleconomische en politieke spanningen over de hele wereld.

Voorlopig zijn er nog genoeg kolen, olie en aardgas om aan de sterk stijgende behoeften te voldoen, maar als wij fossiele brand-

stoffen blijven gebruiken voor onze energievoorziening, is dat schadelijk voor onze gezondheid, het milieu en het klimaat op aarde. Onderzoek naar klimaatverandering toont aan dat nu reeds een derde van alle koolzuurgas in de atmosfeer is gebracht door de mens, bij het verstoken van kolen, olie en in mindere mate gas. Als in de komende eeuw de wereldbevolking groeit naar twaalf miljard mensen en de energievoorziening afhankelijk blijft van fossiele brandstoffen dan stijgt de uitstoot van koolzuurgas en andere schadelijke gassen van vijf naar dertig miljard ton per jaar. Deze blijven in onze dampkring hangen, laten het zonlicht door maar niet de straling van de aarde waardoor het hier steeds warmer wordt. Naast dit versterkte broeikaseffect treedt ook verzuring op van het milieu en komt er fijn stof in de lucht met schadelijke gevolgen voor onze gezondheid en die van planten en dieren. De schok der herkenning die ons beving toen we voor het eerst onszelf vanuit de ruimte zagen, betrof niet alleen het besef dat onze voorraden eindig zijn, dat er grenzen zijn aan de groei, maar ook dat wij verantwoordelijkheid dragen voor onze biosfeer.

Klimatologen, atmosfeerchemici, oceanografen, wis- en natuurkundigen, biologen, geologen en sociologen werken samen in grote onderzoeksprojecten om de werking van het mondiale ecosysteem te leren begrijpen en zicht te krijgen op de toekomstige ontwikkelingen van het klimaat. Hun scenariostudies laten zien dat de gemiddelde temperatuurstijging op aarde, als gevolg van het versterkte broeikaseffect, kan oplopen van een halve graad nu tot veertien graden over honderd jaar. De betekenis van dit onderzoek kan moeilijk worden overschat: een stijging van veertien graden overtreft elke natuurlijke temperatuursvariatie op aarde sinds de laatste ijstijd met een factor zeven. Bovendien zijn de klimaateffecten ongelijk verdeeld over de aarde zodat lokale variaties het leven ter plaatse al spoedig onmogelijk kunnen maken. Zijn recente calamiteiten in Bangladesh, Ve-

nezuela en ook bij ons in Europa daarvan de voorboden?

Klimaatverandering bracht honderdzestig landen ertoe op de wereldconferenties in Rio en in Kyoto afspraken te maken tot het verminderen van de uitstoot van broeikasgassen. Vervolgens heeft de Europese gemeenschap deze vertaald in afspraken met de lidstaten. Zo kwam het dat de regering van ons kleine landje onlangs een Uitvoeringsnota Klimaatbeleid publiceerde, waarin staat hoe wij kunnen voldoen aan onze Kyoto-taakstelling om de uitstoot van broeikasgassen in 2010 ten opzichte van 1990 met zes procent te verminderen.

Klimaatbeleid wordt door sommigen met hoongelach weggewuifd en niet alleen in Nederland. Allereerst zijn daar de Gaia-gelovigen. Zij zien moeder aarde als superorganisme die het leven zelf in stand houdt en zorgt voor een comfortabel klimaat. Terwijl de atmosferen van onze buurplaneten, Venus en Mars, voornamelijk bestaan uit koolzuurgas, is de lucht die wij inademen een mengsel van zuurstof, stikstof en waterdamp, met sporen koolzuurgas, methaan en waterstof in een dynamisch evenwicht. De gassen op aarde reageren met elkaar en met het aardoppervlak in een combinatie van biologische en geologische processen die het evenwicht en dus ook het leven zelf in stand houden. Als de aarde dood zou zijn, zou de atmosfeer in korte tijd net zo'n samenstelling krijgen als die van Venus of Mars. De Gaia-gelovigen wijzen erop dat het leven op aarde zich miljarden jaren heeft ontwikkeld ondanks dramatische veranderingen die zich hebben voorgedaan in de samenstelling van de atmosfeer. Ze suggereren dat het wel mee zal vallen met de gevolgen van de menselijke invloed op het klimaat. Er wordt echter voorbijgegaan aan het feit dat de in het verleden opgetreden klimaatschommelingen, geplaatst in onze tijd, niet voor alle vormen van leven maar voor tenminste een deel van de huidige wereldbevolking catastrofaal zouden uitpakken.

De tweede oppositie tegen klimaatbeleid komt van sommige

politici en lobbyisten, de eigenbelanghebbenden, die met een vertragingstactiek bezig zijn. Zo worden in het huidige regeerakkoord voorwaarden gesteld aan ratificatie van Kyoto. Ondertekening door de VS en Japan lijkt een redelijke eis want zij leveren de grootste bijdrage aan de uitstoot van broeikasgassen. Maar zij stellen weer op hun beurt als voorwaarde dat ook de ontwikkelingslanden de Kyoto-doelstellingen ondertekenen. En de ontwikkelingslanden willen niet meedoen zolang zij veel minder energie per hoofd van de bevolking verbruiken dan geïndustrialiseerde landen. Wij kunnen moeilijk China en India het recht ontzeggen zich net zo te ontwikkelen als wij, maar als zij kolen blijven stoken gaat het met ons aller klimaat geheid verkeerd. Daarom willen de rijke landen de mogelijkheid hebben klimaatdoelstellingen in het buitenland te implementeren. Het klimaatprobleem is een mondiale zaak en het is veel goedkoper energiebesparende maatregelen te realiseren in landen met een zwakke infrastructuur, zoals in Oost-Europa en in ontwikkelingslanden. Maar de ontwikkelingslanden zijn bang dat wij hun ontwikkeling gaan bepalen en zij eisen de transfer van de moderne technologie en die willen wij niet gratis ter beschikking stellen. Een andere voorwaarde in ons regeerakkoord betreft de Nederlandse concurrentiepositie. Als wij de enige in Europa zijn die energiebesparing en duurzame energie stimuleren door belastingheffing op fossiele energie, dan werkt dat in het nadeel van onze export. Er moet dus nog veel onderhandeld worden voordat klimaatbeleid een feit is.

Natuurlijk zijn er ook 'groene gelovigen'. Recent onderzoek wijst uit dat ruim veertig procent van alle Nederlandse bedrijven en huishoudens bereid is 'groene' energie af te nemen tegen de huidige meerprijs. Bij enquêtes als deze moet rekening worden gehouden met een zekere vertekening door sociaal wenselijke antwoorden. Maar ook als slechts een kwart van het aangegeven potentieel reëel is, betekent dit dat meer dan 750.000

Nederlandse huishoudens en meer dan 50.000 bedrijven bereid zijn 'groene' energie af te nemen, een verdubbeling van duurzame energie in ons land. De markt voor duurzame energie is nog klein maar met een groeipercentage van dertig procent per jaar hoort deze, samen met de informatietechnologie, tot de snelst groeiende bedrijfstakken ter wereld.

Is er wereldwijd wel een volledig duurzame energiehuishouding mogelijk? Als we het klimaat op aarde niet willen bederven, als we niet willen stikken in onze uitlaatgassen, moeten we de energievoorraden van deze bol niet als een kaars opstoken. De aarde is niet alleen, de zon straalt er dagelijks omheen. In veertig minuten stuurt de zon net zoveel energie naar de aarde als wij met z'n allen in een jaar verbruiken. In principe is er dus meer dan genoeg zonne-energie, de kunst is om die beschikbaar en betaalbaar te maken voor iedereen. Zonnecellen, die zonlicht direct omzetten in stroom, zijn nu nog duur maar in afgelegen gebieden zonder lichtnet zijn ze nu al concurrerend. In kuststreken met veel wind kunnen windturbines op zee voor energie zorgen. Op de Noordzee is zo'n 40.000 km^2 nog ongebruikt en op dat oppervlak is een 'stroomakker' mogelijk die voor 230 miljoen huishoudens concurrerend elektriciteit produceert. In dichtbevolkte gebieden kan afval en biomassa hergebruikt worden. Door het te vergassen ontstaat een synthetisch aardgas, geschikt als transportbrandstof en als grondstof voor de chemische industrie, betaalbaar en zonder dat er fossiele kool aan te pas komt. Wordt de komende eeuw de eeuw van de zon? Greenpeace en Shell verwachten het.

In zijn bekende essays over vuur stelde Joop Goudsblom dat de mens door de eeuwen heen, met steeds verdere specialisatie en onderlinge samenwerking, steeds hogere vormen van vuurbeheersing heeft ontwikkeld. De mate van vuurbeheersing in een samenleving zou gezien kunnen worden als een maat van de onderlinge afhankelijkheid der leden, een maat van beschaving

van die samenleving. Bij Goudsblom was de internationale samenwerking om gecontroleerde kernfusie tot stand te brengen het hoogtepunt. Kernenergie draagt niet bij aan de uitstoot van broeikasgassen, maar we krijgen er een radioactief afvalprobleem voor in de plaats. Is het niet evenzeer een kwestie van vuurbeheersing en van beschaving als wij wereldwijd tot afspraken komen om de uitstoot van broeikasgassen tegen te gaan en duurzame energie te ontwikkelen? Is het niet een hoge graad van beschaving als wij een mondiale suïcide zouden weten te voorkomen?

Noten

1 H.B.G. Casimir in *De Gids*:
'Over de oude stellingen omtrent het: *horror vacui*', 1984, 595-597
'Ter herdenking aan Niels Bohr', 1985, 633-643
'Woord vooraf bij Het psychofysisch probleem', 1986, 762-763
'Dichtkunst en natuurwetenschap', 1987, 30-39
'De bibliotheek en de toekomst van het boek', 1988, 243-249
'De universiteit zestig jaar geleden', 1988, 666-668
'De bom', 1988, 924-925
'Stijl in de wetenschap', 1989, 713-715
'Vijf maal vijf', 1990, 1015-1017
'Duits als taal der wetenschap', 1993, 787-788
'Alle begin is moeilijk', 1994, 603-604
'Fysici en filosofen', 1995, 988-991
'Vitruvius en de opleiding van architecten', 2000, 30-31
Bij Meulenhoff:
Het toeval van de werkelijkheid, een halve eeuw natuurkunde, 1983
Waarneming en visie, 1987
Mens en kosmos, 1993

2 The Niels Bohr Archive (met dank aan A. Pais).

3 *Niels Bohr's Times, in physics, philosophy and polity*, A. Pais (Clarendon Press, Oxford, 1991); 'Niels Bohr's Philosophi-

cal Background', David Favrholdt, *Historisk-filosofiske Meddelelser* 63, 1992 (met dank aan J. Lindhard); *Niels Bohr and Contemporary Philosophy*, J. Faye and H.J. Folse (eds. Kluwer Academic Publishers, 1994).

4 Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1934.

5 William James, *Pragmatism*, (Harvard Univ. Press 1907).

6 Zie noot 2.

7 'Niels Bohr's Philosophical Background', David Favrholdt, *Historisk-filosofiske Meddelelser* 63, 1992 (met dank aan J. Lindhard).

8 Overige literatuur bij dit onderwerp: Niels Bohr, *Essays 1958/1962 on Atomic Physics and Human Knowledge* (Wiley, New York, 1963).

9 Literatuur bij dit onderwerp: Rob van Dorland, *Radiation and Climate*, dissertatie UU 1999; J. Goudsblom, *Vuur en beschaving, De Gids* en Meulenhoff 1992; P. Westbroek, 'Gaia en de zachte krachten van het leven', oratie RUL 1999;
World Energy Assessment, www.undp.org/seed/eap/activities.

Vacuüm wordt gebruikt in wetenschappelijk onderzoek, bij het maken van computerchips en bij het verpakken van koffie. Sommige geleerden geloven dat door de oerknal ons hele universum uit vacuüm tevoorschijn kwam. In Vacuüm is niet niks beschrijft Frans W. Saris het gedrag van atomen en moleculen in vacuüm én het gedrag van de mensen die dit onderzoek doen en de technologie ontwikkelen. Het boek is in tweeën verdeeld: het ene deel gaat over verschijnselen (het elektron, plutonium, lasers, de chip), het andere over mensen (Einstein, Bohr, Casimir, Curie). Zo ontstaat een caleidoscopisch beeld van de ontwikkelingen in de wetenschap en technologie van de twintigste eeuw en van de mensen die deze eeuw gemaakt hebben. Saris schrijft kritisch maar met optimisme, want 'wetenschap is er niet voor niks'.



Frans W. Saris (1942) is natuurkundige, redacteur van De Gids en directievoorzitter van het Energieonderzoek Centrum Nederland <www.ecn.nl>. Daarvoor was hij directeur van het FOM-Instituut in Amsterdam en hoogleraar in Utrecht. In 1975 ontving hij de Röntgenplakette, in 1976 de Röntgenprijs en in 1981 de Jacob Kistemakerprijs voor Natuurkunde. Naast vele wetenschappelijke publicaties schrijft hij regelmatig columns in NRC Handelsblad, de Volkskrant en Technisch Weekblad. Bij Meulenhoff verscheen eerder van hem Oververhit ijs (1981).

- Saris schrijft columns zoals hij natuurkunde bedrijft: gretig en scherpzinnig. – de Volkskrant
- Stukken van een bevlogene zijn het. – Vrij Nederland
- Het sympathieke van zijn betoog is dat hij zelf de ijdeltuit speelt, zo overtuigend overigens dat ook buitenstaanders onmiddellijk de echtheid van zijn motieven kunnen vaststellen. – NRC Handelsblad

ISBN 90 290 6915 5



www.meulenhoff.nl
Meulenhoff Amsterdam